Botanical Pool Journal

55e Année 1er Trimestre 1949 N° 1

ANNALES DE GEMBLOUX

63 (062) (493) (A. I. Gx.) 4

ORGANE TRIMESTRIEL

de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux.

(Association sans but lucratif).

SOMMAIRE

EUG. GASPART. — *Contribution à l'étude du mouvement des nitrates dans le sol* 1

M. BOUDRU. — *A propos des taillis sous futaie* 28

P. H. MARTENS. — *Notes résumées sur l'évolution de l'analyse des engrais (1ère partie)* 36

Ce numéro : 60 francs.

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION:
GEORLETTE RENÉ
207, Avenue
RICHARD NEYBERGH,
BRUXELLES II

ASSOCIATION DES INGENIEURS AGRONOMES DE GEMBLOUX
A.I.Gx

ÉDITEUR :
DUCULOT
GEMBLOUX

COMMONWEALTH BUREAU OF PASTURES & FIELD CROPS
ABERYSTWYTH, GREAT BRITAIN
LIBRARY

22 MAR 1949

Comité de Rédaction :

Président : Pinguair, R.
Vice-président : Ragondet, G.
Trésorier : Colleaux, H.
Membres : Boudru, M. ; Demortier, G. ; Laloux, R. ; Roland, G. ; Thomas, R. ; Van den Bruel, E. ; Van Hagendoren, G.
Secrétaire de Rédaction : Georlette, R. (tél. 25.88.77)

Compte chèques-postaux nº 1660.59 : Association des Ingénieurs de Gembloux, 14, Drève du Duc, Boitsfort.

Compte-courant nº 64.431 de l'Association à la Société générale de Belgique, 3, Montagne du Parc, Bruxelles.

Tarif publicitaire.

Pour un an :

1 page intérieure :	1400 fr.
1/2 page intérieure :	800 fr.
1/4 page intérieure :	500 fr.
Bandes d'expédition :	2000 fr.

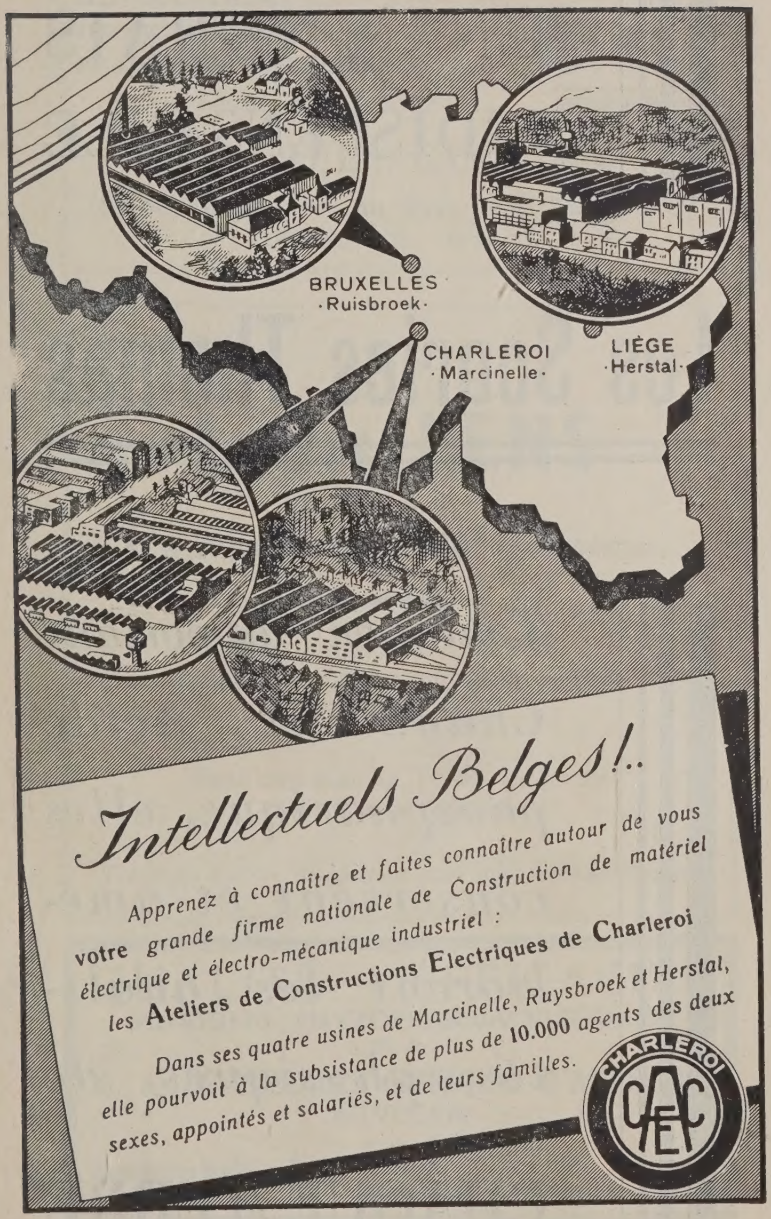
Abonnements annuels.

Pour le pays :	225 fr.
Pour les bibliothèques publiques et les librairies :	180 fr.
Pour l'étranger :	250 fr.

Les publications originales sont signées par les auteurs qui en assument l'entière et exclusive responsabilité.

Les « Annales de Gembloux » acceptent l'échange avec toutes les revues scientifiques traitant des matières agronomiques. Il sera rendu compte de toute publication dont un exemplaire parviendra au Secrétaire de Rédaction.

La reproduction ou la traduction des articles n'est autorisée qu'après accord avec la Rédaction.



Intellectuels Belges!..

Apprenez à connaître et faites connaître autour de vous **votre** *grande firme nationale de Construction de matériel électrique et électro-mécanique industriel :*

les Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi

Dans ses quatre usines de Marcinelle, Ruysbroek et Herstal, elle pourvoit à la subsistance de plus de **10.000** *agents des deux sexes, appointés et salariés, et de leurs familles.*

CHARLEROI
CAEC

UN ENGRAIS
INDISPENSABLE

Les Scories Thomas

Tout en apportant Chaux et Acide phosphorique, elles conservent et améliorent les qualités physiques de

CHAQUE TERRE

MOTOCULTEURS 3 cv — 5 cv — 8 cv
MOTOCHARRUES 8 cv
FRAISEUSES SARCLEUSES 3 cv
robustes, simples, faciles à manier.

SIMAR

CHARLES GUINAND

58-60, Grande rue au Bois, BRUXELLES III
TÉLÉPHONE : 15.60.93.

PEPINIERES

Louis LENS

S. A.

A WAVRE-NOTRE-DAME (près Malines).

LES PLUS GRANDES PEPINIERES
DE BELGIQUE.

Elles disposent de TOUS les plants
dont vous avez besoin.

Toujours à votre disposition pour tous renseignements.

QUALITÉ — EFFICACITÉ
PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES
de la
S. A. DE PRODUITS CHIMIQUES D'AUVELAIS
AUVELAIS

Superfongicide « S » - Fongil.
Larvamor - Larvamor « D ».

Commonwealth Agricultural Bureaux

Liste des bulletins bibliographiques :

Bulletin of Entomological Research	40 s.	Nutrition Abstracts and Reviews	60 s.
Review of Applied Entomology (Series A) ...	40 s.	Dairy Science Abstracts ..	35 s.
Review of Applied Entomology (Series B) ...	20 s.	Forestry Abstracts	45 s.
Review of Applied Mycology	40 s.	Forest Products and Utilization	15 s.
Helminthological Abstracts	35 s.	Horticultural Abstracts ...	35 s.
Animal Breeding Abstracts	35 s.	Field Crop Abstracts ...	35 s.
Veterinary Bulletin ...	40 s.	Herbage Abstracts	35 s.
Index Veterinarius	100 s	Plant Breeding Abstracts	35 s.
		Soils and Fertilizers ...	35 s.

Commonwealth Agricultural Bureaux,
Central Sales Branch,
Penglais,
Aberystwyth (Wales). England.

COGEPOTASSE

IMPORTE LES

POTASSES D'ALSACE

COMPTOIR GÉNÉRAL DES SELS ET ENGRAIS POTASSIQUES S.A.

Service Commercial

Service Agronomique

53, BOULEVARD DU MIDI, 53
BRUXELLES

TÉL. 12.65.45
12.65.80

Bureaux Régionaux:

RUE HAMELIUS, 22
ARLON

RUE DE HENIS, 9
TONGRES

L'INDUSTRIE BELGE

PRODUIT

Sulfate d'ammoniaque

— Calciammon —

Nitrate d'ammoniaque

Nitrate de soude

Cyanamide calcique

c'est-à-dire

UN ENGRAIS **AZOTÉ**

pour chaque terre

pour chaque culture

ANNALES DE GEMBLOUX

55e Année. 1er Trimestre 1949. No 1.

Contribution à l'étude du mouvement des nitrates dans le sol (*)

par

Eug. GASPART

Ingénieur Agronome Gx.
Directeur du Service Agronomique de la Société Commerciale des Nitrates du Chili, S. A., Anvers.

L'azote nitrique, qu'il soit produit dans le sol ou apporté par les engrais minéraux, peut être enlevé de la couche arable par les eaux d'infiltration. L'importance des pertes éventuelles à provenir de cet entraînement dépend d'un certain nombre de facteurs, dont l'un des plus importants consiste dans la résistance opposée par le sous-sol à la pénétration des eaux pluviales. Dans les terres à sous-sol limoneux, les pertes sont nulles ou négligeables ; nulle part elles ne paraissent affecter gravement l'économie agricole.

I. PERTES D'AZOTE EN CASES LYSIMÉTRIQUES NON CULTIVÉES.

La question du comportement des nitrates dans le sol est virtuellement posée depuis que l'on a démontré à la Station Agronomique de Rothamsted, la présence des nitrates dans les eaux de drainage d'une terre laissée en jachère, sans travail et sans fumure.

Ces expériences ont été faites d'abord sur une terre simplement drainée à des profondeurs diverses ; puis, la parcelle a été transformée en case lysimétrique dont le sous-sol est demeuré en place.

Les analyses ont débuté en 1877. Les résultats, jusqu'en 1914,

(*) Manuscrit reçu le 1er mars 1948.

ont été groupés par M. Maschaupt en 5 périodes de 7 années chacune, comme il est établi ci-dessous :

Périodes	Chutes pluviales mm.	Eaux de drainage mm.	Eaux de drainage % des chutes pluviales	Azote	
				mgr. par litre	Kg. par hectare
1877-1884	815	425	52,1	10,5	43
1884-1891	700	350	50,0	9,8	34
1891-1898	702	357	50,8	9,3	32
1898-1905	694	346	49,7	9,5	31
1905-1912	752	390	53,2	6,8	26

La proportion des chutes pluviales en eaux de drainage est la plus élevée dans les années pluvieuses, ce qui semble prouver que la capacité de filtration du sol ne semble pas s'être modifiée au cours du temps. Il en résulte que la vitesse de filtration augmente avec la quantité d'eau qui traverse le sol. L'importance des déperditions de nitrates dépend aussi de l'intensité de la nitrification, c'est-à-dire de la concentration en ions nitriques de la solution du sol. Il est d'ailleurs commun de dire que la composition des eaux de drainage est le reflet de la composition de la solution nutritive du sol.

S'il en est ainsi, on peut conclure des chiffres recueillis à Rothamsted que la concentration de l'eau du sol est en décroissance constante. En d'autres termes, la nitrification des matières azotées, qu'elles proviennent du sol lui-même ou qu'elles lui soient fournies par les eaux météoriques ou par la fixation microbienne de l'azote atmosphérique, se réduit progressivement.

Des cases lysimétriques sont établies dans de nombreuses stations agronomiques. Elles consistent en bacs étanches, de dimensions variables, généralement d'un mètre cube, munis d'une ouverture au fond pour recueillir les eaux de filtration. Ces bacs sont remplis de terre sur toute leur hauteur, de sorte qu'il n'y a pas de sous-sol et que, en tout cas, celui-ci ne peut jamais acquérir la compacité des sous-sols en place.

Dans de telles conditions les pertes d'azote sont encore beaucoup plus élevées qu'à Rothamsted. C'est ainsi que P. P. Dehérain, à Grignon, a trouvé pour une chute pluviale de 500 mm. une perte de 92,7 Kg. d'azote par hectare-an.

De son côté, M. Demolon a observé à Versailles en cases nues, sans engrais, une perte de 167,6 Kg; avec fumier artificiel, la perte a

été de 172,8 Kg. La nitrification de ce fumier n'a pas dû être très active.

M. Maschaupt, à la Station de Groninghe, a également fait des observations sur cases lysimétriques, ne portant pas de végétation. Ces cases, au nombre de huit, ont porté des récoltes de 1918 à 1933, puis elles sont restées incultes de 1933 à 1939. Elles étaient remplies de terre provenant d'un polder de la région, relativement jeune, endigué en 1877 et par conséquent riche en matières organiques. La terre avait été préalablement séchée à l'air pendant plusieurs mois, puis pulvérisée et tamisée.

Pendant la période inculte, les observations suivantes ont été faites :

Nombre de lysimètres observés	Périodes	Chutes pluviales par an en mm.	Eau de drainage par an en mm.	Pourcentage des chutes pluviales en eau de drainage	Pertes en azote nitrique en mgr. par litre	Pertes en azote nitrique, par Ha et par an en Kg.
8	1er septembre 1933 au 1er septembre 1936	672	324	48,2	43,7	141,6
2 (1) (Nos 5 et 8)	1er septembre 1936 au 1er juin 1939	733	481	66,0	38,2	183,8
2 (2) (Nos 1 et 4)	id.	733	426	58,1	35,1	141,5

(1) avec libre décharge d'eau.
(2) avec niveau constant de l'eau du sol.

Ces résultats confirment ceux obtenus à Rothamsted, bien que la nature du sol et surtout du sous-sol soit tout à fait différente, ainsi que ceux signalés plus haut pour d'autres stations.

L'importance des pertes est en raison directe de la quantité d'eau filtrée, quantité qui dépend de la capacité du sol à se laisser traverser par l'eau libre. A ce dernier point de vue, les deux premières périodes, du 1er septembre 1933 au 1er septembre 1936 et de cette dernière date au 1er juin 1939 (lysimètres Nos 5 et 8) sont tout à fait comparables et l'on constate que le pourcentage des chutes pluviales en eau de drainage a singulièrement augmenté, par rapport à la période antérieure de culture, ce qui entraîne, malgré une concentration plus faible en azote nitrique, une perte totale en azote beaucoup plus élevée.

Pour apprécier l'influence du ralentissement de la vitesse de pénétration des eaux pluviales, l'expérimentateur a maintenu dans les

lysimètres 1 et 4 une nappe d'eau, en limitant le débit du drain. Cette limitation a eu pour effet de limiter aussi la quantité totale d'eau filtrée, par comparaison avec la quantité recueillie dans les lysimètres 5 et 8 et de réduire la teneur de l'eau de filtration en azote nitrique.

Le ralentissement de la vitesse de renouvellement de l'eau de filtration devrait avoir pour effet, dans l'opinion de l'auteur, d'augmenter les pertes à raison du fait d'un contact plus prolongé, qui assurerait une plus forte dissolution des nitrates du sol. Les chiffres produits ne confirment pas cette opinion. Il ne pourrait d'ailleurs en être autrement que si le lessivage était un simple phénomène de dissolution, mais il est dû, sans doute, comme nous le montrerons plus loin, à des actions plus complexes et obéit dès lors à des lois différentes. Nous ajouterons que si le lessivage était un phénomène de dissolution, les eaux de filtration provenant de terres cultivées non drainées, possédant un sous-sol assez compact et réduisant à l'extrême la vitesse de renouvellement de l'eau libre, devraient être beaucoup plus riches en azote nitrique que les eaux de drainage des cases lysimétriques elles-mêmes ; les résultats de l'analyse des eaux de source montrent que cette hypothèse n'est pas fondée.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus par l'analyse des eaux de drainage conduisent logiquement à la conclusion que l'azote nitrique et nombre d'autres éléments nutritifs produits dans le sol par le travail microbien ou qui sont ajoutés sous forme d'engrais solubles peuvent être enlevés, en plus ou moins grandes quantités, par les eaux pluviales qui traversent la couche de terre des cases lysimétriques. Cette conclusion a été abusivement étendue aux terres non drainées et cultivées.

II. Pertes d'azote en cases lysimétriques cultivées.

Les pertes d'azote sont déjà beaucoup plus réduites dans les cases lysimétriques qui portent une végétation.

Cette observation est pleinement confirmée par les résultats obtenus par A. Petermann à la Station Agronomique de Gembloux dans les essais qu'il a poursuivis de 1881 à 1886 sur la fumure de la betterave sucrière. Ces expériences ont été faites en cases cimentées, d'une capacité de 1 m. cube (1 × 1 × 1), soumises à toutes les influences atmosphériques. Le tableau ci-après résume les données de ces essais et les constatations qui en résultent :

Années	Quantités totales d'eaux de drainage en litres				Pertes totales d'azote en grammes			
	Case I sans engrais	Case II Superphosph. et Chlor. de pot.	Case III Nitrate de soude	Case IV Superph. Chlorure et Nitrate	Case I	Case II	Case III	Case IV
1881	111	80	65	50	0,87	0,59	0,60	0,49
1882	156	116	108	80	0,78	0,70	0,69	0,50
1883	Pas de pluie — pas d'eau de drainage				—	—	—	—
1884	40	21	20	12	0,19	0,11	0,12	0,09
1885	Pas de pluie — pas d'eau de drainage				—	—	—	—
1886	54	47	38	25	0,34	0,32	0,26	0,18
Totaux	361	264	231	167	2,11	1,72	1,67	1,26
Moyennes par année	60	44	38,5	28	0,363	0,287	0,280	0,210
Totaux par hectare /an	600 m.c.	440 m.c.	385 m.c.	280 m.c.	3Kg65	2Kg87	2Kg80	2Kg10

Les quantités d'eau de drainage pendant la période de végétation, sont extrêmement réduites, malgré les conditions favorables à la filtration existant dans les cases de Gembloux, comme dans toutes les cases lysimétriques : absence de sous-sol, grande surface lisse de contact autour du bloc de terre et appel d'eau par l'ouverture du fond. La hauteur moyenne annuelle des chutes pluviales dans la région de Gembloux étant de 700 mm., l'eau de drainage (1), dans le cas le plus défavorable, case I, représente 8,57 p. c. de la hauteur totale et seulement 4 p. c. dans le cas le plus favorable (case IV) ; encore, faut-il observer qu'il n'y a eu aucune application de fumier dans le cours des six années d'essai.

Les pertes d'azote qui sont minimes sont en raison directe de la quantité d'eau filtrée et en raison inverse de la fumure appliquée.

Petermann observe que les quantités d'eau filtrée et les pertes d'azote, sont en raison inverse du développement de la végétation ; avec la fumure complète, le développement foliacé beaucoup plus abondant évapore beaucoup plus d'eau et provoque une plus grande assimilation de l'azote nitrique.

Des expériences exécutées en vases de végétation à la Station Agrologique de Hasselt par C. Schreiber en 1904 et en 1907 montrent aussi que les pertes d'azote durant la végétation sont extrêmement réduites, sinon nulles.

Les observations de Petermann et de Schreiber ont seulement

(1) Recueillie pendant la période de végétation.

porté sur la période de végétation, mais le lessivage des nitrates peut se poursuivre en dehors de cette période.

Les expériences de la Station de Groninghe ne présentent pas cette lacune. Durant la période 1918 à 1933, toutes les cases lysimétriques ont porté des récoltes, parmi lesquelles deux récoltes de trèfle et deux récoltes de pois ; on a recueilli les eaux de drainage durant toute l'année et les analyses ont été faites régulièrement, mais à des intervalles tels, cependant, qu'il est impossible de distinguer les pertes durant la période de végétation et en dehors de celle-ci.

Cette longue suite de cultures se divise en trois périodes bien distinctes correspondant, selon les observations de l'auteur, à une intensité différente de la nitrification.

Pendant la première période, la nitrification a été réduite par suite probablement d'une stérilisation partielle du sol par la dessiccation préalable qu'il avait subie et aussi par suite d'une aération insuffisante du sol, composé de terre fine tamisée.

Dès qu'une meilleure aération fut établie par l'action des racines et des eaux de filtration, la nitrification prit, dans ce sol poldérien, une allure d'explosion qui s'est maintenue pendant trois ans.

La nitrification retomba alors à un taux normal, qui s'est maintenu jusqu'à la fin avec les variations inhérentes à ce phénomène, qui dépend en grande partie des conditions atmosphériques. Nous résumons dans le tableau ci-après, suivant les données fournies par l'auteur, les résultats obtenus pour chacune de ces périodes :

Périodes	Chutes pluviales par an en mm.	Eaux de drainage par an en mm.	% des chutes pluviales en eaux de drain.	Pertes d'azote par l. d'eau de drainage en mgr.	Perte d'azote nitrique par Ha./an en Kg.
I du 28/ 8/1918 au 1/ 1/1921	720	178,8	24,0	6,2	10,7
II du 1/ 1/1921 au 1/12/1923	660	160,8	24,4	70,8	113,8
III du 1/12/1923 au 1/ 9/1933	749	211,2	28,2	24,6	51,96

Ces chiffres montrent clairement que les pertes d'azote par lessivage sont en raison directe du pourcentage des chutes pluviales recueillies comme eau de drainage, ainsi que de la concentration de l'eau du sol en ions nitriques.

III. — Pertes d'azote dans les terres cultivées drainées.

On a signalé depuis longtemps déjà à Rothamsted que les terres

nues drainées perdaient trois fois autant d'azote que les mêmes terres portant du froment sans fumure azotée.

A priori, on peut concevoir qu'il en soit ainsi. En effet, malgré que les drains constituent un appel d'eau et que les eaux en excès se fraient assez rapidement un chemin vers les drains à travers le sous-sol, celui-ci garde une partie de sa compacité originelle et oppose toujours une certaine résistance à la pénétration des eaux pluviales. En fait, la vitesse de renouvellement de l'eau libre est entravée par la végétation et du même fait la concentration en azote de la solution du sol est aussi plus réduite.

L'influence du sous-sol a été mise en évidence par des expériences d'irrigation effectuées à la Station d'East-Malling en Angleterre. On a conclu de ces essais que la circulation de l'eau dans le sol est beaucoup plus lente dans le sens latéral que dans le sens vertical. Aussi, l'influence des horizons inférieurs du sol et de la perméabilité de la roche sous-jacente peut-elle être primordiale dans l'utilisation de l'eau d'irrigation.

On peut ajouter à cette conclusion qu'il en est nécessairement de même pour les eaux pluviales.

Au surplus, le drainage est considéré depuis longtemps comme une amélioration foncière qui paie dans toutes les situations où les eaux en excès doivent séjourner sur les couches du sous-sol trop rapprochées de la surface; elle ne paierait pas, si l'exploitation de la terre drainée exigeait la restitution d'une quantité supplémentaire d'azote, égale à celles qui sont relevées dans les eaux de drainage des cases lysimétriques.

On n'observe pas dans la pratique qu'il en soit ainsi. Le Dr. Lehr rapporte des expériences de drainage d'une terre cultivée, de nature argilo-sablonneuse, faites en Hollande par Sjollema. Voici les pertes d'azote constatées :

Dates	Fumure azotée par hectare en Kg.	Pertes d'azote par Ha. — en Kg.
1901-1902	600 Kg. phosph. d'amm. — 200 Kg. nitrate de soude	20,7
1902-1903	» »	3,7
1903	.....	1,9
1903-1904	néant	22,1
1904-1905	225 Kg. nitrate de soude	6,6
1905-1906	200 Kg. nitrate de soude	11,9
1906-1907	néant	7,3
1907-1908	néant	11,7
1908-1909	100 Kg. nitrate de soude	10,0
1909-1910	20.000 Kg. fumier	66,3

La moyenne annuelle des pertes par hectare au cours de ces dix

années avec une seule application de fumier en dernière année, s'élève à 16,22 Kg ; elle tombe à 10,6 Kg si l'on fait abstraction des résultats de la dernière année.

Beaucoup de renseignements manquent pour apprécier la signification de ces résultats, notamment l'importance des chutes pluviales, le débit des drains et la profondeur à laquelle ceux-ci sont placés, ainsi que les cultures pratiquées.

Les Annales Agronomiques ont rapporté (1941) les résultats obtenus depuis 1932 par le drainage de terres humides dans le Département de l'Yonne. Voici des rendements réalisés à l'hectare dans ces terres, comparés à ceux des terres non drainées :

Blé	1937 : 25 quintaux	au lieu de	10
Blé	1938 : 35	»	8
Avoine	1938 : 25	»	8

Faute d'indications au sujet des fumures appliquées, on est en droit de supposer que si les fumures azotées, nécessaires pour obtenir de tels rendements, avaient dépassé les doses habituelles employées en terres saines non drainées, les frais supplémentaires entraînés de ce chef, ajoutés aux frais d'amortissement du drainage, auraient rendu l'exploitation trop onéreuse.

IV. Pertes d'azote dans les terres cultivées non drainées.

Les observations faites dans la pratique culturale tendent à prouver que, s'il se produit des pertes d'azote dans les terres non drainées exploitées normalement, elles n'ont qu'une valeur négligeable. Les praticiens estiment que les fumures azotées qu'ils appliquent ne pourraient pas suffire à satisfaire à la fois aux besoins des récoltes qu'ils réalisent et à combler des pertes de 40 à 50 Kg. d'azote par hectare et par an, tout en maintenant la fertilité de leurs terres.

Certaines expériences en plein champ sont particulièrement suggestives à cet égard. Maercker, cité par Petermann, obtenait des résultats très favorables avec le nitrate de soude « même lorsqu'il était appliqué avant l'hiver pour des cultures d'été ». Petermann insiste, de son côté, sur la nécessité d'employer des engrais avant les semailles ; il a obtenu les meilleurs résultats dans la culture de la betterave par l'enfouissement, à la bêche, de l'engrais complet. C. Schreiber professe la même opinion. Il conseille d'appliquer le Nitrate du Chili deux à trois semaines avant les semailles et de l'enfouir par un labour ; en terres sablonneuses, il recommande toutefois l'application quelques jours seulement avant les semailles.

L'application en doses fractionnées, écrit-il, ne donne pas des rendements plus considérables.

L'application de la dose entière de nitrate avant les semailles est aujourd'hui une cause gagnée auprès des praticiens belges, qui opèrent dans les régions où le sol et le sous-sol sont assez pourvus en colloïdes. Certains d'entre eux ont même, depuis longtemps, étendu cette pratique à la culture des céréales d'hiver.

C'est à leur exemple que le Service Agronomique des Nitrates du Chili à Anvers a organisé annuellement, depuis un quart de siècle, des expériences sur la fumure du froment d'hiver, en vue de comparer l'action du nitrate appliqué avant les semailles à celle de l'application d'une dose égale en couverture au printemps.

Ces expériences ont été d'abord organisées en parcelles simples sans répétition, mais plusieurs essais, sur le même plan, étaient établis chaque année. Les résultats observés ont été, de façon presque régulière, favorables à l'application du nitrate avant les semailles.

Depuis quelques années, il a été possible d'organiser des expériences selon la formule du carré latin, comportant 4 traitements et 3 répétitions. Le contrôle de ces essais est très rigoureux.

Les deux modes d'application du nitrate, avant les semailles et en couverture, très tôt au printemps, ont régulièrement donné les rendements les plus élevés.

Le tableau ci-après donne les rendements moyens obtenus par une application de 300 kg de nitrate pour deux années de récolte. Nous avons calculé le poids de matière sèche sur la base d'une teneur en matières sèches de 85,3 p. c. pour le grain et de 87,7 p. c. pour la paille et la richesse en azote, d'après les teneurs respectives de 21,1 et de 4,8 pour mille pour le grain et pour la paille.

	Grain à l'hectare		Paille à l'hectare	
	Fumure d'automne	Fumure de printemps	Fumure d'automne	Fumure de printemps
	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
Récolte 1936-37	3.876,62	3.836,11	5.787,02	6.464,88
» 1937-38	4.527,00	4.312,00	7.590,00	7.751,00
Rendements moyens	4.201,81	4.074,15	6.688,59	7.097,94
Rendements moyens en mat. sèche	3.584,19	3.475,16	5.752,05	6.082,92
Richesse totale en azote	88.658	85.968	32.105	34.070

Azote total dans la récolte : Fumure d'automne 120.763
Fumure de printemps 120.031

Ce tableau résume les résultats de 27 expériences établies dans les

régions limoneuse, sablo-limoneuse et poldérienne. Les conditions de végétation étaient en conséquence très variées, quant à la nature du sol et du sous-sol, à l'état de fertilité, à la variété cultivée et quant aux conditions climatériques.

L'époque d'application de la dose de Nitrate du Chili était, dans ces essais, le seul facteur variable.

La démonstration que nous avons poursuivie est acquise. A dose égale, le Nitrate du Chili, appliqué avant les semailles du froment, assure l'assimilation d'une même quantité d'azote dans la récolte, que l'application en couverture au printemps, c'est-à-dire cinq ou six mois plus tard. On constate seulement une différence dans le mode d'action du nitrate appliqué, qui se marque par une répartition différente entre le grain et la paille de l'azote assimilé, cette différence étant, du point de vue économique, à l'avantage de l'application précoce. Cette différence d'action tient au fait que l'azote du nitrate appliqué avant les semailles est en grande partie utilisé à l'époque de l'épiage et de l'élaboration de l'amidon du grain.

S'il est utilisé plus utilement, il ne s'en suit pas qu'il le soit plus complètement. Il est impossible évidemment de distinguer dans la récolte la part d'action du Nitrate du Chili et celle des nitrates formés dans le sol par nitrification, puisqu'il est établi que le nitrate appliqué contribue lui-même à assurer l'activité des agents nitrificateurs.

On en est donc réduit à mesurer l'action du Nitrate du Chili, comme celle de tous les autres engrais d'ailleurs, par la comparaison des rendements obtenus sur les parcelles témoin, sans fumure azotée, avec ceux des parcelles fumées.

La quantité d'azote trouvée dans la récolte des parcelles témoin provient uniquement des nitrates formés dans le sol par nitrification. On suppose que la nitrification n'a pas été plus intense dans les parcelles fumées, de sorte que la différence entre les rendements en azote des unes et des autres représente la quantité d'azote provenant du Nitrate du Chili utilisé directement par la récolte.

Dans les expériences dont nous avons signalé les résultats plus haut, le poids en azote des rendements moyens réalisés dans les parcelles témoin est de 90,417 Kg. L'écart avec la quantité d'azote trouvée dans les rendements des parcelles fumées avant l'hiver s'élève à 30,346 Kg, ce qui représente la partie des 46,5 Kg appliqués comme Nitrate du Chili. Le coefficient d'utilisation du Nitrate du Chili s'établirait donc comme suit :

$$\frac{30{,}346 \text{ Kg} \times 100}{46{,}5 \text{ Kg.}} = 65{,}26 \text{ p. c.}$$

Ce coefficient, pourtant déjà élevé par comparaison avec les chiffres

produits par les auteurs — (il est légèrement inférieur pour la fumure de printemps) — ne représente cependant pas toute la partie de l'azote appliqué comme Nitrate du Chili. Les chaumes et les racines, de même que les feuilles tombées au cours de la végétation et les déchets de la moisson, ainsi que les mauvaises herbes qui ont pu envahir la récolte, contiennent aussi plus d'azote qu'ils ne peuvent en renfermer dans les parcelles témoin. Les microorganismes du sol prélèvent aussi, comme l'a établi H. J. Conn, l'azote qui leur est nécessaire sur les nitrates, et les algues qui végètent dans les couches supérieures du sol en font une consommation plus importante encore.

Ce sont là des facteurs de stabilisation des nitrates, dont il est apparemment impossible de chiffrer l'importance.

Mais il apparaît déjà, de ces constatations, que l'utilisation de l'azote des nitrates formés dans le sol et des nitrates appliqués soit suffisante pour que les pertes dans les eaux d'infiltration puissent être pratiquement considérées comme négligeables.

Ces considérations nous ont conduits à rechercher la teneur en azote nitrique des eaux d'infiltration dans les terres cultivées non drainées et à tenter de fixer le volume moyen annuel de ces dernières.

V. Pertes d'azote dans les eaux d'infiltration.

Les eaux d'infiltration forment dans les couches profondes du sol la nappe phréatique, celle où s'alimentent les puits et les sources ; elles contiennent l'azote nitrique, qu'elles ont pu entraîner en traversant les couches supérieures où puisent les racines des plantes.

Nous devons à l'extrême obligeance de M. Buydens, Directeur du Laboratoire de la Compagnie intercommunale des Eaux de Bruxelles, d'avoir pu disposer des résultats de l'analyse des eaux captées par cette Compagnie dans diverses régions agricoles importantes du pays. Ces résultats représentent la moyenne de multiples dosages effectués depuis nombre d'années, notamment en ce qui concerne l'azote.

La composition en azote des eaux captées est l'image fidèle de l'épuisement des couches supérieures en cet élément, car on ne conçoit pas que l'azote nitrique puisse être détruit ou fixé d'une manière quelconque au cours de sa descente à travers les couches profondes inaccessibles aux racines.

Les captations sont d'ailleurs creusées à des profondeurs si considérables qu'aucune altération ou fissuration du sous-sol en place n'a pu se produire.

Les captations de la Forêt de Soignes et de Braine l'Alleud sont creusées dans la masse de sable bruxellien qui surmonte la couche

imperméable d'argile Yprésienne à des profondeurs de 32 à 52 mètres, pour la captation de la forêt et de 10 mètres en moyenne pour celle de Braine l'Alleud.

Les galeries de Loupoigne, qui captent des sources, de même que celles d'Onoz, de Spontin et de Modave, les trois dernières percées à travers la roche calcaire pour recueillir les sources, sont à des profondeurs de 7 à 10 mètres, mais il faut remarquer qu'elles prennent les sources à leur émergence et que celles-ci proviennent de nappes d'eau qui ont circulé à des profondeurs beaucoup plus grandes.

Le fait que les eaux qui ont traversé les masses filtrantes d'une telle épaisseur sont pures de toute infection par des matières organiques, depuis le début des installations, constitue la preuve de l'intégrité complète des sous-sols.

On peut dès lors considérer les captations de la Compagnie de Bruxelles comme des lysimètres fonctionnant dans des conditions naturelles irréprochables.

La connaissance de la teneur en azote des eaux d'infiltration ne suffit pas pour déterminer les pertes que peuvent subir les terres cultivées en azote. Il importe encore de connaître le volume d'eau filtrant annuellement par unité de surface, c'est-à-dire par hectare.

L'importance de ce facteur pourrait être déterminée si, connaissant le débit de chacune des captations, on pouvait fixer l'aire respective de leur approvisionnement. Pour des raisons diverses, cette détermination est impossible, soit par exemple que le relief de la couche imperméable sur laquelle reposent les galeries ne corresponde pas au relief de la surface, soit encore que toutes les sources de la zone ne soient pas asséchées par l'établissement de la captation.

On possède cependant quelques données concernant le volume des eaux d'infiltration dans les terres cultivées non drainées. Le Dr Keen à Rothamsted admet qu'il est d'un tiers pour une hauteur moyenne annuelle des chutes pluviales de 750 mm. M. Demolon propose le même chiffre pour une chute pluviale de 600 mm. sous le climat de Paris. G. André admet le coefficient de 43 p. c. en se basant sur le débit des fleuves, mais ce débit comprend, avec les eaux de source, les eaux de ruissellement qui sont d'autant plus abondantes que le relief du sol est plus accentué.

Nous admettrons le coefficient d'un tiers, bien que nous démontrerons plus loin qu'il est trop élevé, au moins pour l'une des zones de captation de la Compagnie bruxelloise.

D'après Lancaster, Directeur de l'Observatoire d'Uccle, les hauteurs moyennes des chutes pluviales sont de 700 mm. pour les régions sablo-limoneuse et limoneuse et de 750 mm. pour le Condroz.

Sur la base des teneurs en azote relevées par le Laboratoire de la Compagnie des Eaux de Bruxelles pour chacune de ses captations et du volume des eaux d'infiltration, nous avons calculé les pertes d'azote par hectare et par an dans les zones de captation (1).

Zones de captation	Teneur en azote exprimée en N_2O_5 en mgr. par litre	Teneur en azote en mgr. par litre	Pertes d'azote par hectare et par an en Kg.
A. *Région sablo-limoneuse*			
Forêt de Soignes	6,0	1.555	3.627
Braine l'Alleud, Lillois, Ophain	12,0	3.110	7.256
Vieux Genappe et Loupoigne	10,0	2.592	6.047
B. *Région limoneuse*			
Onoz	4,0	1.037	2.419
C. *Région du Condroz*			
Spontin	7,5	1.944	4.860
Modave	7,5	1.944	4.860

Ces données appellent quelques commentaires.

L'application d'un coefficient uniforme du volume des eaux d'infiltration pour toutes les régions au calcul des pertes d'azote à l'hectare ne permet pas d'attribuer aux chiffres établis une valeur absolue.

Nous montrerons plus loin que la texture du sous-sol, la richesse du sol en colloïdes, l'état plus ou moins fermé de la surface, le relief du sol plus ou moins favorable au ruissellement, la température atmosphérique, l'activité de la vie microbienne du sol et de la couverture végétale sont autant de facteurs qui modifient, à égalité de chutes pluviales, le volume des eaux d'infiltration.

Si les pertes d'azote nitrique sont moins élevées pour la captation de la Forêt de Soignes que pour celle de Braine-l'Alleud, appartenant toutes deux aux mêmes formations géologiques, cela est dû en partie au fait d'une plus forte évaporation de la couverture

(1) Depuis que ces lignes ont été écrites, la Compagnie des Eaux de Bruxelles a entrepris la captation des eaux dans la région des Écaussines et notamment des eaux accumulées dans la fosse d'une ancienne carrière. Ces eaux proviennent essentiellement des sources de la région et ne sont guère diluées par les eaux de pluie tombant sur la surface restreinte de la fosse. La roche, d'où proviennent les sources, est du calcaire carbonifère recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de limon, en moyenne 5 à 7 mètres. Des analyses répétées n'ont pu déceler la présence d'azote nitrique dans les eaux des sources ou de la fosse ni d'ailleurs de quelque autre combinaison de cet élément.

forestière et en partie aussi, d'une moindre activité nitrifiante dans le sol acide de la forêt.

En région limoneuse, la nitrification est aussi active et souvent presque aussi prolongée qu'en région sablo-limoneuse, mais le sous-sol est beaucoup plus rétentif. Dans le Condroz, non seulement la période de nitrification est plus courte que dans les autres régions, ce qui réduit la concentration en ions nitriques de la solution du sol, mais le ruissellement est beaucoup plus abondant dans cette région, où le relief du sol est notablement plus accentué. Nous montrerons plus loin que dans cette dernière région, ce volume est, en effet, inférieur au tiers des chutes pluviales.

Dans le cas le moins favorable, les pertes sont très inférieures à celles qui sont accusées dans les essais de lessivage en cases lysimétriques cultivées et elles sont compensées par l'apport d'azote dû aux précipitations météoriques. Du point de vue de l'application des fumures minérales azotées, elles sont négligeables, d'autant plus que celles-ci sont généralement appliquées en période de végétation intense et qu'elles sont, ainsi, rapidement utilisées.

VI. Le bilan de l'azote en culture.

Le calcul des pertes d'azote dans les eaux d'infiltration en terre cultivée non drainée, est le produit de deux facteurs dont l'un, la teneur en azote des eaux, est réel et l'autre, le volume annuel moyen des eaux d'infiltration, est plus ou moins approché. On pourrait cependant déterminer celui-ci avec toute la précision désirable, s'il était possible d'établir le bilan de l'azote d'une exploitation type pour chacune des zones de captation de la Compagnie des Eaux de Bruxelles.

Dans une terre cultivée, sans fumure azotée, le stock d'azote dans les couches accessibles aux racines tend vers l'équilibre entre les apports et les pertes, équilibre qui se traduit par un rendement moyen de valeur constante.

Il en est ainsi dans Broadbalk Field, cette pièce de terre de la Station Agronomique de Rothamsted, consacrée à la culture continue du froment depuis plus d'un siècle. Dans la longue bande de terre cultivée depuis le début sans fumure organique ou minérale, le rendement moyen en grain s'établit depuis de nombreuses années à 700 Kg environ. Le stock d'humus est épuisé depuis longtemps, car le sol nu se présente sous une couleur jaune clair, qui contraste avec la couleur brune des parcelles voisines qui ont reçu du fumier et l'on peut se demander d'où vient l'azote nécessaire à la production du froment : des précipitations météoriques en partie qui, à Rothamsted, fournissent environ 5 kg. par hectare, d'une fixation de

l'azote atmosphérique par les microorganismes du sol, (c'est peu probable, car l'action microbienne doit être très réduite ou même nulle dans cette terre sans humus) mais surtout par un phénomène curieux autant que remarquable, sur lequel l'éminent Directeur de la Station, Sir John Russel, attirait notre attention en 1939. Dans la parcelle sans fumure azotée, le froment était envahi par une légumineuse, la Gesse (*Lathyrus sylvestris*), alors que les parcelles voisines, avec fumier ou avec fumure azotée minérale seule, étaient pratiquement pures de cette mauvaise herbe.

Dans les terres cultivées régulièrement fumées, l'exploitation du stock d'azote varie d'année en année, suivant les conditions atmosphériques qui règlent en grande partie l'intensité de la nitrification et suivant les cultures pratiquées. La rupture de l'équilibre de l'azote dans le sol arable est donc essentiellement le fait des actions naturelles. Par l'application de fumures azotées minérales, l'homme intervient pour rétablir l'équilibre et maintenir le stock au niveau qui assure la production de rendements économiques.

Il apparaît de ces considérations que le bilan de l'azote d'une exploitation donnée ne peut être établi sur les chiffres d'apports et de pertes afférents à une seule année de production. Il doit porter sur une période assez longue pour tenir compte de la variation des conditions naturelles et de l'action des fumures organiques et minérales pour permettre d'apprécier si la fertilité du sol s'est maintenue.

Ainsi conçu, le bilan de l'azote est une égalité.

Comme tous les bilans, il comporte un actif et un passif ; à l'actif figurent les apports d'azote ; au passif, les sorties et les pertes. L'actif balance le passif si la fertilité s'est maintenue.

Les postes à l'actif sont les suivants :

a) achats d'engrais azotés, d'aliments, de grains et graines.

b) fixation d'azote atmosphérique par les cultures de plantes légumineuses.

c) apports par les précipitations météoriques (pluie, neige, brouillard).

d) fixation d'azote atmosphérique par les microorganismes du sol.

Au passif peuvent figurer les postes ci-après :

a) sorties par la vente des produits végétaux et animaux provenant de l'exploitation.

b) pertes à l'émission du fumier de ferme, pendant sa conservation en tas, pendant le transport et à l'épandage.

c) pertes dans les eaux d'infiltration.

d) pertes dans les eaux de ruissellement.

e) pertes d'azote gazeux pendant les opérations culturales.

Le total de l'actif étant égal à celui du passif, on peut poser que, si un ou plusieurs postes de l'actif sont égaux à un ou plusieurs postes du passif, les autres postes de l'actif et du passif sont également égaux entre eux.

Par exemple, si les apports par achat de produits renfermant de l'azote sont égaux aux sorties résultant de la vente des produits de la ferme, plus les pertes dans les eaux d'infiltration, il est évident que les autres postes de l'actif sont eux-mêmes en équilibre avec les autres postes du passif. Nous choisissons à dessein les trois postes susvisés, parce qu'ils sont seuls contrôlables : les achats et les ventes par les éléments de la comptabilité, les pertes dans les eaux d'infiltration par la teneur en azote de ces eaux, ce qui permet de déterminer le volume moyen annuel de ces eaux, et le pourcentage qu'il représente par rapport aux chutes pluviales moyennes.

Nous devons au concours intelligent et dévoué de M. Bertholet, Ingénieur agronome, Directeur de l'École provinciale d'Agriculture de Ciney et de la ferme y annexée, d'avoir pu établir le bilan de l'azote de cette ferme, sur les bases que nous venons d'exposer.

Cette ferme occupe une étendue totale de 73 Ha 45, se répartissant comme suit :

terres labourées	44 Ha 30
prairies fauchées et pâturées	29 Ha 15

L'assolement triennal, en vigueur dans le Condroz, est également pratiqué à Ciney. Les terres de la ferme, comme celles de la plupart des fermes de la région, reposent sur des formations alternées de roches calcaires, psamitiques, gréseuses ou schisteuses. Elles sont toutes incluses dans le bassin du Bocq, le même où s'alimentent les sources captées à Spontin par la Compagnie des Eaux de Bruxelles.

M. Bertholet a bien voulu dépouiller personnellement les facturiers d'entrée et de sortie de la ferme, qui sont tenus scrupuleusement au jour le jour, pour une période couvrant les années 1934 à 1939 inclus, soit la durée de deux assolements.

Le poids total des achats et des ventes nous a été renseigné par année. A l'aide de ces données, nous avons calculé la moyenne annuelle des achats et des ventes par produit. A chacun de ceux-ci, nous avons appliqué les teneurs en azote relevées, soit dans les factures d'achat, soit dans les tables publiées dans le « Memento de l'Agriculteur belge », soit dans les tables de Wolff. Ces calculs nous ont permis de dresser le bilan de l'azote comme suit :

Actif	Kg. d'azote	Passif	Kg. d'azote
Achats Engrais azotés	1.121,32	Ventes Produits végétaux	1.027,87
» Aliments du bétail	779,33	» Produits animaux	694,08
» Semences	97,31	Pertes dans les eaux d'infiltration, pour balance	276,01
Total	1.997,96	Total	1.997,96

soit par hectare et par an : achats ..... 27 Kg. 2
ventes ..... 23 Kg. 443
pertes par lessivage .. 3 Kg. 757

La teneur en azote des eaux d'infiltration recueillies dans la captation de Spontin étant de 1 mgr 037 par litre, le volume moyen annuel de ces eaux sur le terroir de la ferme de Ciney est de

$$\frac{3 \text{ Kg } 757}{1 \text{ mgr } 037} = 1.932 \text{ m. cubes.}$$

La hauteur moyenne annuelle des chutes pluviales dans la région du Condroz, établie par l'Observatoire Royal à Uccle, étant de 750 mm. le volume des eaux d'infiltration représente

$$\frac{1932 \times 100}{7.500} = 25,8$$ pour cent du volume des chutes pluviales.

Ce pourcentage est notablement inférieur pour cette région, à la proportion du tiers (33,3 p. c.) des chutes pluviales admis par les auteurs cités plus haut.

Nous n'avons pu obtenir les concours nécessaires pour dresser sur les mêmes bases, le bilan de l'azote pour les régions limoneuse et sablo-limoneuse. Nous avons dû établir le bilan de l'azote pour ces régions sur des données moyennes, pouvant comporter des erreurs d'appréciation, bien qu'elles aient été fournies en toute bonne foi par des praticiens avertis. Les indications qu'ils fournissent, quant aux pertes dans les eaux d'infiltration, n'ont donc pas la même valeur que celles obtenues en partant des données certaines de la comptabilité.

On ne doit leur attribuer d'autre signification que celle d'une valeur d'ordre.

Voici ces bilans :

A. *Région limoneuse.* — La ferme pour laquelle le bilan est établi a une étendue totale de 107 Ha 80, se répartissant en 94 Ha 15 de terres sous labour, 8 Ha 15 de pâtures nues et 5 Ha 50 de pâtures sous verger.

Elle est située à Avernas près de Hannut. Dans cette partie de la Hesbaye, on trouve la nappe phréatique à des profondeurs variant de 4 à 15 mètres. Cependant, à la Sucrerie de Trognée, distante de

5 à 6 Km d'Avernas, le creusement d'un puits, effectué il y a quelques années, a dû atteindre la profondeur de 27 m. pour toucher la couche de marne et de craie dans laquelle se trouve la nappe phréatique. Les conditions de filtration peuvent donc être un peu différentes dans cette zone de ce qu'elles sont dans la captation d'Onoz, où la couche de limon repose sur les roches calcaires.

Dans le calcul du mouvement de l'azote, il n'a pas été tenu compte des pâtures, qui ne sont pas fauchées et qui ne contribuent pas ainsi à accroître l'approvisionnement des terres sous labour. La ferme pratique l'engraissement à l'étable pendant la période hivernale. L'assolement est quadriennal.

Actif	Kg. azote	Passif	Kg. azote
Fumier de ferme		Épuisement par les récoltes :	
880 T. × 6 °/₀₀	5.280	Betteraves sucrières	4.285
Engrais minéraux azotés	3.700	Céréales	5.027
Luzerne 9 Ha, les 2/3 de la récolte en provenance de l'atmosphère	1.104	Lin	250
		Pommes de terre	68
		Luzerne	1.656
Luzerne : azote laissé dans le sol après rupture	180	Pertes dans les eaux d'infiltration, pour balance	234
Vesces en culture dérobée	315		
Précipitations météoriques (10 Kg. par hectare)	941		
Total	11.520 Kg.	Total	11.520 Kg.

Par hectare et par an, ces données s'établissent comme suit :

Actif	122 Kg. 36
Passif	119 Kg. 87
Pertes dans les eaux d'infiltration	2 Kg. 49

Les pertes dans les eaux d'infiltration résultant de la comparaison des apports d'azote et de l'épuisement par les récoltes sont similaires à celles établies plus haut sur la base de la teneur en azote de ces eaux.

Cette coïncidence n'implique pas nécessairement que ces chiffres sont les mêmes dans la réalité, mais elle fournit au moins une preuve supplémentaire que les pertes réelles sont sensiblement du même ordre dans les diverses zones de la région limoneuse.

B. *Région sablo-limoneuse.* — La ferme choisie est située à La Marache-Ohain, à une lieue de la captation de Braine l'Alleud.

Elle a une étendue totale de 37 Ha 70, dont 26 Ha 70 en terres labourées et 11 Ha en pâtures nues.

L'assolement est de 8 ans. La ferme pratique la production laitière et l'élevage. Le bilan est établi sur les mêmes bases qu'en région limoneuse.

Actif	Kg. azote	Passif	Kg. azote
Fumier de ferme :		Épuisement par les récoltes :	
268 T. × 4,5 °/₀₀	1.206	Betteraves sucrières et	
Engrais minéraux azotés ..	1.328	fourragères	531
Trèfle : azote atmosphérique	192	Céréales	1.930
Trèfle : résidus en terre	100	Trèfle	640
Vesces en culture dérobée ..	196	Pertes dans les eaux d'in-	
Précipitations météoriques .	267	filtration, pour balance	188
Total	3.289 Kg.	Total	3.289 Kg.

Ces données s'établissent comme suit par hectare et par an :

Actif	123 Kg. 1
Passif	116 Kg. 1
Pertes dans les eaux d'infiltration des terres sous labour	7 Kg.

Ici encore la coïncidence s'affirme avec les chiffres obtenus sur la base de la teneur en azote des eaux captées à Braine-l'Alleud, qui est de 7 Kg 256.

Ces résultats tendent à confirmer que le coefficient d'un tiers admis pour la proportion des chutes pluviales passant dans les eaux d'infiltration serait voisin de la réalité pour l'une et l'autre région. Cela est vrai du moins pour la région sablo-limoneuse où les pertes d'azote sont plus élevées du fait que la vitesse d'écoulement de ces eaux est plus rapide, le sous-sol étant constitué par la masse du sable bruxellien.

L'observation montre, en effet, que ces terres se ressuient beaucoup plus tôt au printemps et après les pluies qu'en région limoneuse.

VII. Mécanismes limitant les pertes d'azote nitrique dans le sol.

Les chiffres des pertes d'azote nitrique dans les eaux d'infiltration, dont nous avons fixé plus haut l'importance, conduisent logiquement à rechercher les facteurs qui, dans la nature, s'opposent à l'entraînement de cet élément nutritif essentiel.

Étant donné que l'importance des pertes est fonction de la quantité d'eau qui traverse en un temps déterminé les couches du sol contenant cet azote, ainsi que de la concentration en azote nitrique de la solution du sol, on est amené à considérer d'abord les facteurs qui limitent la proportion des chutes pluviales qui s'infiltrent dans le sous-sol pour atteindre la nappe phréatique, de même que les conditions qui réduisent la vitesse de pénétration de ces eaux ; ensuite, de considérer les facteurs qui réduisent la concentration en ions nitriques de la solution du sol.

L'eau se trouve dans le sol sous trois états différents : sous forme d'eau fixée, sous forme d'eau libre et sous forme de vapeur.

L'eau est essentiellement, sinon uniquement, fixée dans le sol par adsorption. L'adsorption étant un phénomène de surface, plus ces surfaces sont étendues, c'est-à-dire plus il y a d'éléments fins pour un même volume de terre et plus sera élevée la quantité d'eau retenue par unité de volume.

PETERMANN, à la Station Agronomique de Gembloux, a déterminé la capacité des sols belges à retenir l'eau. Il a établi la quantité d'eau qu'ils peuvent retenir après imbibition et égouttement complet. Ce pouvoir de rétention varie de 28 p. c. à plus de 50 p. c. La moyenne s'établit entre 35 et 40 p. c., ce qui est d'ailleurs le cas le plus général.

La capacité pour l'eau étant déterminée, comme nous le signalons ci-dessus par la proportion des éléments fins de la couche arable, nous avons cru intéressant de relever dans les analyses de PETERMANN les pourcentages de sable poussiéreux, d'argile et de matières organiques en établissant des moyennes pour chacune de nos grandes régions agronomiques. Ces moyennes sont les suivantes :

Région de la Campine sablonneuse :		42,1	pour cent	de terre fine
»	sablo-limoneuse	76,8	»	»
»	limoneuse	94,1	»	»
»	du Condroz et de l'Entre-Sambre et Meuse	88,0	»	»
»	des Ardennes	74,1	»	»
»	Jurassique	88,2	»	»

Il existe, bien entendu, des textures très variables dans chacune des régions, mais les chiffres ci-dessus semblent bien caractériser les régions agronomiques, au point de vue de leur aptitude à fixer l'eau dans le sol. Ce sont surtout les formes colloïdales des minéraux de l'argile et des oxydes de fer et d'alumine qui sont intéressantes à ce point de vue, ainsi que celle de la partie des matières organiques, qui se présente sous forme d'humus.

Les colloïdes forment des gels avec l'eau. J. DUCLAUX donne le nom de gel à toute masse rigide formée d'une substance solide et d'un liquide ou solvant, celui-ci étant en proportion beaucoup plus forte que le solide, par exemple plus de 90 p. c. en volume.

Dans le sol, les matières solides sont les oxydes, peu abondants, l'argile colloïdale et l'humus.

Tous les constituants du sol, autres que les colloïdes, retiennent également l'eau et la fixent sous forme d'un film mince fortement adhérent. On peut apprécier l'énergie avec laquelle l'eau est fixée

dans le sol par la mesure de la force nécessaire pour l'extraire complètement ; elle serait de l'ordre de 40 atmosphères de pression. L'humus, qui gonfle sous l'action de l'eau, paraît aussi la fixer le plus énergiquement, car on observe que la solution est d'autant plus difficile à extraire que le sol est plus riche en humus.

L'eau ainsi fixée aux colloïdes à l'état d'hydradation ou de gonflement, demeure capable de dissoudre les cristalloïdes (Sandoz).

Les micelles d'argile, qui forment des gels argileux, ont conservé, suivant LAVOLLAY, la forme cristalline.

Les micelles d'humus peuvent aussi former des gels organiques, pourvu que l'humus ne soit pas décalcifié, auquel cas il devient soluble dans l'eau et peut être entraîné par les eaux d'infiltration.

Les micelles d'argile, comme celles d'humus, ont une charge négative.

Dans les sols à structure granulaire, ce qui est le cas dans les terres en bon état de culture, il existe des gels organo-minéraux.

Il est intéressant d'exposer ici la formation des gels organo-minéraux, parce qu'ils ont à la fois une grande importance au point de vue de la rétention de l'eau dans le sol, aussi bien que de la fertilité de celui-ci.

Depuis longtemps déjà SCHLOESING, en France, avait reconnu que l'argile cimente le sable et que l'humus cimente les minéraux, son pouvoir agrégeant étant plusieurs fois plus élevé que celui des colloïdes minéraux.

D'autre part LAVOLLAY rapporte que SOKOLOVSKI a reconnu l'existence dans le sol de deux fractions de l'humus, l'une absorbant le calcium et l'autre combinée avec les colloïdes minéraux. Le calcium est présent dans l'humus uniquement à l'état adsorbé et il n'y forme pas de sels. L'humus reste fixé dans le sol en présence de Ca, mais quand cette base est éliminée, l'humus est rapidement perdu. Cette fraction de l'humus constitue la partie active du colloïde humique du sol et est équivalente à la matière noire de Grandeau.

La formation des agrégats organo-minéraux a été bien étudiée par SIDERI D. F. de l'Institut Agronomique de Voronech (U. R. S. S.). Par des méthodes optiques, ce chercheur a montré que les agrégats sont constitués par un noyau solide enveloppé d'une couche d'humus amorphe plus ou moins arrondie. Le noyau solide est formé de lamelles successives de sable, d'argile et d'humus, soudées les unes aux autres. Ce noyau est à surfaces planes.

Ce phénomène de cimentation prend l'allure d'une véritable cristallisation. L'argile absorbe autant d'humus qu'elle présente de points de cristallisation.

Le noyau solide est très résistant à l'eau et même aux alcalis, bien que certains de ses constituants se dissolvent dans l'eau.

Un autre savant russe, TYULIN, de l'Institut des Recherches sur les Fertilisants à Moscou, a également reconnu l'existence de l'humus dans un noyau solide et de la fraction d'humus amorphe, *faiblement attaché*, le premier étant beaucoup plus abondant que le second dans l'échantillon de sol du Tchernozène qu'il a analysé. Mais cette dernière forme a un pouvoir absorbant beaucoup plus élevé et cet humus faiblement attaché (l'humus amorphe de Sideri) est beaucoup plus riche en carbone, en azote et en acide phosphorique. L'auteur a démontré par des expériences culturales que cette partie de l'humus du sol est le véritable siège de la fertilité. Ceci n'a rien d'étonnant d'ailleurs, puisque l'humus a un pouvoir d'échange bien plus élevé que l'argile ; TURNER, cité par LAVOLLAY, a trouvé que l'humus a une capacité d'échange de 151 milliéquivalents pour 100 grammes, tandis que la fraction argileuse du sol a seulement une capacité de 24 milliéquivalents pour 100 grammes soit le 1/7 de l'humus.

L'eau absorbée par les colloïdes du sol en quantité très abondante, puisque l'humus à l'état sec absorbe 15 fois son poids, semble mieux retenue encore, parce que les gels s'entourent d'une couche monomoléculaire formant un véritable film. L'existence d'un tel film a été reconnue par SIDERI. Sa constitution à la surface des solutions colloïdales a été particulièrement bien étudiée par le physicien français LECOMTE DU NOUY à l'Institut Rockfeller de New-York.

Si l'on admet les chiffres de PETERMANN pour la capacité des terres pour l'eau, en tenant compte de la texture du sol et de l'action exercée par les éléments que nous venons d'étudier, on peut estimer de 1000 à 1500 tonnes la quantité d'eau fixée dans une couche arable d'une épaisseur de 25 cm. La couche vierge de Petermann de 25 à 50 cm de profondeur, ayant une capacité pour l'eau presque égale à celle de la couche supérieure, on peut considérer qu'à la sortie d'un hiver qui a permis à ces couches d'être saturées, elles tiennent à la disposition des plantes cultivées une quantité d'eau presque toujours suffisante pour assurer la production des rendements les plus élevés. Ce n'est pas nécessairement le cas dans les régions sablonneuses, dont le pouvoir de fixation est plus réduit que celui des terres limoneuses ou argileuses. Ce n'est pas non plus nécessairement le cas dans les régions hautes du pays, où les pertes par ruissellement sont élevées, bien que compensées en partie par une pluviosité plus intense et une moindre évaporation de surface.

L'eau libre du sol est constituée par la portion des chutes pluviales qui pénètrent dans les espaces lacunaires du sol, sans subir

l'attraction des gels colloïdaux ou des surfaces libres. Il ne peut pas y avoir d'eau libre dans les terres non saturées.

On conçoit aisément qu'en dehors des périodes de pluies abondantes de l'automne et de l'hiver, sur un sol ouvert, la couche arable est très rarement saturée.

Bien des facteurs, en effet, contribuent à réduire la quantité d'eau fixée dans le sol. Parmi les plus importants, il faut citer l'influence de la couverture végétale, de la flore inférieure et de la flore microbienne.

L'évaporation directe à la surface du sol est aussi un facteur dont il convient de tenir compte; on peut observer qu'elle se produit même en hiver, aux dépens des flaques d'eau qui se trouvent sur une surface imperméable en plein air.

Il faut encore tenir compte de l'état de la surface des terres qui sont plus ou moins fermées en dehors des périodes de labour et du relief du sol ; lorsque ces deux facteurs se conjuguent, leur influence est grande.

Enfin, le mode de répartition des chutes pluviales au cours de l'année peut modifier dans une large mesure la quantité d'eau libre traversant les couches supérieures du sol. Les pluies sont plus abondantes durant la période de végétation, mais l'évaporation est aussi beaucoup plus intense du fait que la végétation est beaucoup plus active.

L'eau libre descend sous l'influence de son propre poids. Si elle peut circuler à une certaine vitesse dans les espaces lacunaires du sol, sa progression doit être singulièrement réduite, lorsqu'elle atteint les couches du sous-sol en place, sauf dans le cas où celui-ci est constitué par du sable à gros grains, qui le rend très perméable.

On peut apprécier dans une certaine mesure la vitesse de pénétration de l'eau libre dans le sous-sol par le temps que mettent à rétablir leur débit normal les sources épuisées par une longue période de sécheresse, comme celle de l'été 1947. On estimait, à la Compagnie Intercommunale des Eaux de Bruxelles qu'il faudrait six mois pour récupérer ce débit normal.

On peut conclure de cette observation que l'eau libre stagne dans les espaces lacunaires de la couche arable pendant un temps assez long, au cours duquel tous les électrolytes du sol sont ionisés et une partie de ces ions adsorbés dans la solution nutritive, surtout durant les périodes de vie active dans cette même couche arable. LAVOLLAY constate, en effet, que la solution nutritive du sol se reconstitue au fur et à mesure qu'elle s'épuise sous l'action des poils absorbants.

Nous avons ainsi tenté de montrer l'action des multiples facteurs

BUREAU OF PASTURES & FIELD CROPS
LIBRARY
PWYTH, GREAT BRITAIN + IRL

limitant le volume des eaux d'infiltration et qui justifient les coefficients des chutes pluviales, admis plus haut pour le calcul des pertes d'azote nitrique.

L'importance des pertes dépend aussi de la concentration de la solution du sol en ions nitriques.

Il n'est pas démontré que l'ion nitrique soit adsorbé par la micelle dans les gels colloïdaux. Cependant, le professeur A. Scala de Rome croit pouvoir conclure d'essais de lessivage de tissus végétaux, qu'il se forme une sphère d'anions (négatifs) autour de la sphère de cations (positifs). Dans cette sphère des ions acides NO_3, SO_4, Cl, CO_2 seraient déplacés par l'ion OH comme les cations se déplacent entre eux et sont cependant tous entraînés également dans les eaux d'infiltration, où l'on retrouve en plus ou moins grande abondance Ca, Na, K et Mg.

Quoi qu'il en soit, si le pouvoir fixateur du sol est énergique pour l'acide phosphorique et pour certains cations, il ne l'est pas au même point pour l'azote nitrique, même s'il était démontré qu'il existe.

Un autre facteur joue pleinement pour limiter la concentration de l'azote nitrique dans la solution du sol.

Il existe, en effet, une concordance presque parfaite entre la production de l'azote nitrique dans le sol et la consommation qui en est faite par la végétation de surface et par la végétation microbienne dans le sol. Plus la nitrification est abondante et plus la vie est active à la surface et dans le sol, car on ne peut nier que l'azote soit l'élément vital par excellence. Les plantes l'absorbent avec une avidité telle qu'elles en tombent par terre.

La flore microbienne du sol et la flore inférieure, notamment les algues, contribuent comme la végétation de surface, à réduire la concentration de la solution du sol en azote nitrique ; les unes et les autres fixent cet azote dans le sol en l'engageant dans leur organisme. L'accumulation d'azote organique dans les sols de prairies, de pâtures ou des terres portant des légumineuses fourragères montre bien que de nombreuses activités vitales tendent à immobiliser l'azote nitrique du sol.

Toutes ces activités aussi puissantes qu'on le constate, sont cependant limitées par les aptitudes physiologiques des organismes qui les exercent. Si un équilibre s'établit naturellement lorsque l'azote nitrique provient uniquement de la nitrification des substances organiques azotées du sol, il peut en être autrement lorsque l'on applique au sol des engrais minéraux, comme le nitrate de soude ou le nitrate de chaux, contenant seulement de l'azote nitrique.

Le calcul montre qu'une application de 600 Kg de nitrate de soude par hectare augmente seulement de 0,002 la teneur de la solution en azote nitrique, si l'engrais est complètement dissous et réparti dans une couche de 10 cm d'épaisseur par les façons culturales et si la teneur du sol en eau fixée est au moins de 20 pour cent ; si cette teneur est supérieure à ce chiffre, la dilution augmente. Or, la teneur de la solution nutritive du sol en matières sèches n'est pas inférieure à 0,5 p. c. et J. Russell reconnaît qu'elle atteint rarement 1 p. c. Ces considérations s'appliqueraient seulement dans le cas où les organismes du sol ou de la surface n'absorberaient pas d'azote nitrique. Elles montrent que l'application de fumures d'azote minéral sous forme nitrique n'augmente pas le danger de pertes de cet élément dans les eaux d'infiltration et que les doses à appliquer n'ont pas d'autre limite que l'aptitude des plantes cultivées à les utiliser économiquement.

Ce travail était terminé quand nous avons eu connaissance d'une communication faite par M. Alexandre Dupont, ingénieur agronome, au Congrès des Ingénieurs Agronomes qui a eu lieu à Paris, en décembre 1946. Cette communication portait sur l'*Evolution de la Technique d'Emploi du Nitrate de Soude du Chili*.

Après avoir exposé les phases de cette évolution déterminées par les opinions relatives au comportement des nitrates dans le sol, l'auteur expose la technique actuelle basée sur les résultats de nombreuses recherches qui ont permis de conclure que la diffusion latérale et verticale du nitrate de soude dans le sol est extrêmement lente. Il rappelle à ce propos les observations de Schreiber à Hasselt et les recherches de Muntz et Gaudechon (1905 à 1908), de Demolon et Brouet (1910 à 1911), Malpreux et Lefort (1911 et 1912), Brioux et Jouis (1930 à 1932) et de Lemoigne et Dupic (1932).

La conséquence de ces recherches scientifiques, conclut l'auteur, fut une profonde modification de la technique d'emploi des engrais nitriques.

Au terme de cette étude, nous tenons à adresser nos remercîments à M. Buydens, Docteur en Sciences, Directeur du Laboratoire de la Compagnie intercommunale des Eaux de Bruxelles, à M. Bertholet, Ingénieur agronome, Directeur de l'École provinciale d'Agriculture de Ciney, à notre confrère et ami Jean Dochen, d'Avernas, et à M. R. Herman, à La Maroche-Ohain, pour le concours précieux qu'ils nous ont si aimablement accordé.

LITTÉRATURE.

André, G. — Chimie Agricole. Chimie Végétale, Paris, J. B. Baillière et fils, 1909.

André, G. — Propriétés générales des sols en Agriculture, Paris, A. Colin 1923.

Beirnaert, A. — La Technique culturale sous l'Équateur. *Publications de l'I. N. E. A. C.* Bruxelles, 1941.

Boulanger, M. — Les Résultats obtenus depuis 1932 par les Associations syndicales autorisées. *Analysé dans Annales Agronomiques*, N° 1, 1941.

Boutaric, A.— Les Colloïdes et l'État colloïdal. Félix Alcan, Paris, 1931.

Chaminade, R. et Drouneau G. — Recherches sur la Mécanique chimique des Cations échangeables. *Annales Agronomiques*, N° 5, 1936

Chaminade, R. — Étude des Équilibres entre le Complexe absorbant et la Solution du sol. *Annales Agronomiques*, N^{os} 5 & 6, 1934.

Decoux, L. et Van Goidsenhoven, W. — La Statique des Sols à Betteraves. *Publications de l'Institut belge pour l'Amélioration de la Betterave*, N° 6, 1942.

Demolon, A. — La Dynamique des Sols. — 2^{me} Édition, Paris, Dunod, 1938.

Demolon, A. — Observations sur l'Économie de l'Azote en Agriculture. *Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, N° 8, 1942. (Analysé dans Publications de l'Institut belge pour l'Amélioration de la Betterave, N° 5, 1942).

Duclaux, J. — Diffusion dans les Gels et les Solides. Paris, Hermann et Cie, 1936.

Dupont, Alexandre. — L'Évolution de la Technique d'Emploi du Nitrate de soude du Chili. *La Défense Agricole de la Beauce et du Perche*, Avril 1948 (Chartres).

Flerov, K. — Adsorption des Nitrates dans les Terres. *Revue générale des Colloïdes*. N^{os} 68-69, 1929.

Gaspart, E. — Expériences sur la Fumure du Froment. *Gazette du Nitrate du Chili*. N° 4, 1937 ; N° 2, 1939 ; N° 1, 1940.

Grégoire, A. — Les Colloïdes en Agrologie. *Annales de Gembloux*. n^{os} 7 et 11, 1923.

Hénin, S. — Idées actuelles sur l'Eau du Sol et ses Rapports avec la Plante. *Annales Agronomiques*, Paris N° 5, 1936.

Hooghland, D. R et Arnn D. I. — Physiological Aspects of Availability of Nutrients. *Soil Science*, N° 6, 1936.

Keen, B. A. — Soil Mechanics and Physics. *Communications officielles de l'Association internationale de la Science du Sol*. Vol. B. D. III, 1943. (VI-I) N^{os} 1-2.

Keen, B. A. — Land Drainage. The Area of Benefit. *Journal of the Ministry of Agriculture*, London, N° 6, 1936.

Lancaster. — Monographies agricoles de la Belgique. (Le Climat),

publiées par le Ministère de l'Agriculture, *Service des Agronomes de l'État*. Bruxelles 1900.

Lavollay, J. — Les Constituants colloïdaux des Terres arables. *Le Complexe argilo-humique et les Phénomènes d'Échange d'ions*. Paris, Hermann & Co, 1943.

Lecomte du Nouy. — Équilibres superficiels des Solutions colloïdales. *Monographies de l'Institut Pasteur*. Masson, Paris, 1928.

Lehr, J. J. — Over de Beteekenis van Borium voor den Landbouw. Memento de l'Agriculteur belge. *Publication du Service Agronomique de la Société Commerciale des Nitrates du Chili*, Anvers 1940.

Maschaupt, J. G. — Lysimeter-Onderzoekingen aan het Rijkslandbouw Proefstation te Groningen en elders. Deel II. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*. N^r^ 47 (41. A).

Pavlovski, Gh. et Mavrodineau, R. — Solubilité des Bases dans le Sol. *Annales Agronomiques* N° 2, 1942, p. 296.

Rogers, W. S. — Essai d'Irrigation d'un Verger. Contrôle de l'Humidité du Sol. *Annales Agronomiques*, N° 1, 1943, p. 75.

Russell, E. J. — Les Conditions du Sol et la Croissance des Plantes. Traduction Matisse, Paris, Flammarion.

Sardoz & C^ie^. — Bureau Scientifique. Chapitres Choisis de *Biochimie Générale*. III. Phénomènes de Surface. Bâle, 1943.

Scala, Alberto. — Constituzione della micella colloïdale. *(Giornale della Stazion experimentale agrari italiane*, 1926).

Schreiber, C. — Le sol et les Engrais. Tome II. « *Les Engrais* », Gembloux, Duculot 1933.

Sideri, D. I. — On the formation of Structure in Soil : V. Granular Structure. *Soil Science*, Vol. 46, N° 3, 1938.

Stainier, X. — Sur la présence du sel marin dans quelques types de limon. *Bulletin de l'Agriculture belge*, Tome IX, 1893.

Tyulin, A. — Composition and Structure of Soil : Organo-mineral Gels and Soil Fertility. *Soil Science*, Vol. 45, N° 5, 1938.

Wolff, E. — Les Engrais. Traduction A. Damseaux, Bruxelles, Mayolez, 1887.

A propos des taillis sous futaie

par
M. Boudru,
Ingénieur Agronome A. I. Gx.

Les discussions à propos de l'intensité optima des balivages dans les taillis sous futaie sont, plus que jamais, à l'ordre du jour (1, 2, 3, 4 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16). Tantôt on prône l'abandon du régime, tantôt le retour à l'ancien taillis sous futaie à réserve peu chargée. La dernière tendance rencontre la faveur de certains milieux qui s'abritent, souvent abusivement, derrière l'autorité d'un maître réputé (11, pp. 271-272). Est-il permis de faire remarquer que la pensée des auteurs forestiers qui se sont occupés de la question est trop souvent mal comprise ou mal interprétée, que le problème est habituellement mal posé, que les décisions à prendre — ou déjà prises — dans l'un ou l'autre sens sont extrêmement lourdes de conséquences, qu'elles ne doivent être envisagées qu'après un examen approfondi de ce milieu un peu spécial qu'est le taillis sous futaie à réserve chargée, que cette étude indispensable n'a pas encore été faite, du moins à notre connaissance, et que, par conséquent, on se lance dans l'aventure.

Quels seraient les inconvénients du taillis sous futaie à réserve chargée ? « L'augmentation de l'ombrage du taillis et du sol ... entravent le réensemencement naturel de l'essence précieuse exigeante en lumière : les jeunes brins de l'âge du taillis, les baliveaux, espoirs de la forêt, se font de plus en plus rares, au point de devenir introuvables après 2 ou 3 révolutions ; le chêne pédonculé, qui veut un éclairement plus fort, se défend moins bien dans la lutte pour la vie, disparaît d'ailleurs nettement plus vite que le rouvre » (10, p. 54). « L'accroissement annuel ne s'élève que très lentement au fur et à mesure que le matériel augmente » (10, p. 55). « Le taillis est peu étoffé et moins rémunérateur » (I, p. 173).

Nous faisons immédiatement observer, quant au dernier point, que les considérations classiques sur le peu de valeur économique du taillis, en Belgique, sont toujours vraies et qu'on ne doit pas asseoir un régime et un mode de traitement sur les bases mouvantes d'un marché désaxé. Nous n'avons que trop d'exemples, dans notre pays, de démentis catégoriques et *immédiats* à une politique forestière à courte vue. Rappelons les années de crise de 1933 et 1934 pendant lesquelles on a préconisé l'éducation des résineux en peuplements purs et serrés, à exploiter *jeunes* en vue de fournir des *bois de mines* « de faibles dimensions, longs, ronds, droits, propres, défilant peu ». Deux ans après, les Hollandais venaient enlever, à bons prix, les *pilots* et les scieurs indigènes se disputaient les grosses

catégories. BAGNÉRIS a toujours raison : « Faites de la bonne sylviculture et le reste viendra par surcroît ».

Le deuxième point à considérer est la disparition des baliveaux dans le taillis sous futaie à réserve chargée, traité à des révolutions encore longues — 15 ans et plus. Cette disparition est un *fait*. Mais quelles en sont les causes exactes ? L'ombrage de la futaie trop dense ne serait pas seul à mettre en cause. Nous pensons avec SCHAEFFER (14) que l'existence à l'étage dominé d'essences de lumière est compatible avec un état relativement fermé des peuplements. Nous avons d'ailleurs des exemples, trop peu nombreux hélas en Belgique, de groupes serrés de semis de chêne complètement *dégagés* de l'étreinte du taillis, des ronces, des fougères et du chèvrefeuille, prospérant quelques années sous le couvert d'une futaie chargée. On sait que les semis de chêne doivent à l'importance de leur réserve cotylédonaire de pouvoir subsister deux ou trois ans sous le couvert du taillis. Mais après, ils sont peu à peu étouffés et sont condamnés à disparaître si un dégagement énergique n'intervient pas. Ce dégagement énergique est la coupe normale du taillis sous futaie ou un recepage complet (*). le facteur primordial de la disparition des semis semble être plus la concurrence de la végétation basse (rejets du taillis, ronces, fougères, herbages...) que le couvert même de la futaie.

Mais il y a un autre phénomène, le plus important peut-être, dont on n'a jamais parlé dans notre pays. Il a été abordé en termes mesurés mais suffisamment clairs et explicites par un maître de la foresterie française. Après avoir rappelé que le taillis sous futaie, imaginé en France depuis longtemps, est un mode de traitement des forêts feuillues, simple, souple, adapté aux besoins et aux capacités de gestion de nombreux propriétaires, GUINIER (5) examine le côté biologique. Nous reproduirons intégralement le texte de l'ancien directeur de l'École de Nancy, en recommandant au lecteur de le lire mot à mot et de le méditer : «...le taillis sous futaie fondé sur la régénération par rejets, présente l'originalité de réaliser un *type de forêt purement artificiel*, façonné par la volonté humaine, dans

(*) Remarque de PERRIN (12, p. 99) : « Dans une coupe de régénération de futaie, le semis de chêne n'a à lutter qu'avec d'autres semis de son âge contre lesquels on lui vient en aide ; les difficultés de croissance que peut lui créer la présence de porte-graines sont bientôt réduites, puis supprimées, par les coupes secondaire et définitive. Dans un taillis sous futaie, ce même semis souffre de la concurrence, combien redoutable, de rejets à végétation puissante... vis-à-vis desquels on ne fait généralement rien ; il subit, de plus, inéluctablement, pendant toute la durée de la révolution, le couvert bas et étendu, l'énorme ombre portée des réserves ». PARDÉ (7, p. 739) insiste sur la nécessité des dégagements des semis naturels, lors des conversions de taillis sous futaie en futaie pleine, par la méthode classique.

lequel non seulement la forme très particulière du peuplement, mais la nature et la proportion des essences diffèrent nettement de ce qu'elles sont dans la forêt naturelle. Ce type artificiel de forêt *se maintient stable tant que les méthodes appliquées restent les mêmes.* Mais on comprend qu'en présence de la dépréciation des bois de chauffage qui, avec des conditions économiques normales, s'est accentuée depuis plus d'un demi-siècle, on ait été tenté, surtout dans des forêts appartenant à des collectivités, *d'augmenter la proportion des arbres de la réserve* et de produire davantage de bois d'œuvre d'essence *chêne.* L'ÉQUILIBRE ARTIFICIELLEMENT MAINTENU ENTRE LES DIVERSES ESSENCES A ÉTÉ ROMPU ; UNE ÉVOLUTION S'EST PRODUITE DANS LE SENS D'UN RETOUR A UN ÉTAT PLUS VOISIN DU TYPE NATUREL DE LA FORÊT : la régression des chênes en a été le principal symptôme. Le fait a été maintes fois signalé et discuté ». (*). Le taillis et le taillis sous futaie classique nous sont si familiers et si profondément ancrés dans nos mœurs qu'il est absolument nécessaire de rappeler que ces types de forêt sont purement artificiels tout comme le milieu dans lequel ils vivent. Certains de nos praticiens sont prêts à l'oublier !

Quelle pourraît être, chez nous, la forêt naturelle dont parle GUINIER ? On dira qu'il est difficile, voire impossible de s'en faire une idée exacte puisqu'elle n'existe plus, même à l'état fragmentaire dans notre pays où l'occupation humaine a été poussée très loin. Toutefois, les études phytosociologiques, les analyses polliniques dans les tourbières, l'observation de peuplements reposés plus ou moins « sauvages », nous permettent une reconstitution assez fidèle et, semble-t-il, assez aisée du facies primitif. La forêt spontanée serait, sur la généralité des sols de la Belgique, une forêt feuillue mélangée, d'âges multiples, relativement riche en essences, de composition assez uniforme dans son ensemble mais très variée localement ; le sol en serait une terre brune plus ou moins mûre ou une rendzine plus ou moins évoluée, profonde, perméable, fraîche, d'activité biologique plutôt intense. Dans le cortège varié des essences, nos *deux chênes seraient loin d'être dominants.* Des essences de première grandeur mais moins longévives (orme, frêne, érable, hêtre...), des arbres de deuxième grandeur (charme...) ou de faible longévité (aune, peuplier...), de nombreux fruitiers (cerisier, sorbier, poirier, alisier...) (**) les arbustes, les arbrisseaux, les multiples plantes du sous-bois et de la florule devaient former avec eux un ensemble harmonieusement équilibré.

(*) C'est nous qui avons souligné.

(**) ...peut-être même des îlots de résineux accrochés en de refuges édaphiques, suprêmes vestiges de la poussée boréale (pin sylvestre) ou tentatives dispersées et sans lendemain de la colonisation subatlantique (épicéa) ?

Qu'a fait l'homme de cette forêt sauvage et de ce bel équilibre ? Il a rompu le dernier et tout exigé de la première : des fruits, du chauffage, des bois d'œuvre, de la nourriture et de la litière pour ses troupeaux, des céréales pour lui-même, de nombreux produits nécessaires à ses besoins industriels. Parmi les multiples essences de la sylve primitive, un triage s'est fait, conséquence soit de la volonté consciente de l'homme (réserve délibérée du chêne) soit de ses pratiques (élimination des essences d'ombre ou ne rejetant pas de souche...). Quant au sol, la spoliation a été poussée si loin en certains endroits qu'il est difficile de s'en représenter l'état primitif; si ce n'est par comparaison avec ce qui existe dans des peuplements que l'éloignement et (ou) la topographie ont protégés de l'emprise humaine. Sans remonter dans la suite des âges, examinons rapidement ce qu'étaient les taillis sous futaie, vers le milieu du siècle dernier, par exemple sur les sols schisteux, gréso-schisteux ou gréseux, de la Fagne, de la Famenne, de la Basse et Moyenne Ardenne. La métallurgie au charbon de bois agonise, l'agriculture ignore encore les engrais artificiels, les haies à écorce sont intensément exploitées, l'essartage, le pâturage, le ramas des feuilles, la coupe des genêts et des herbages sont pratiqués sur une large échelle. Le paysage rural est encore en fait à peu près identique à celui que nos ancêtres ont connu pendant les temps modernes. A côté de maigres terres de culture livrées régulièrement à la jachère, le village dispose de landes pâturées, de haies à écorce périodiquement essartées et de taillis composés. Ces derniers comportent une réserve claire de chênes et de bouleaux, un taillis peu dense pratiquement formé de bouleaux et de chênes ; le charme s'accroche au bas des versants, le frêne et l'érable dans les dépressions et le long des ruisseaux ; un tapis de bruyères et d'herbages couvre un sol superficiel, caillouteux et sec. Voilà donc dans toute sa pauvreté floristique... « le type artificiel façonné par la volonté humaine... qui se maintient stable tant que les méthodes appliquées restent les mêmes ». Les méthodes stabilisées depuis des siècles se résumaient comme suit : culture en taillis de chêne et bouleau pour l'écorce à tan, la charbonnette et le chauffage ; réserve de chênes de bâtiment, d'agriculture et de travail réduite au strict nécessaire ; pâturage, essartage et autres prélèvements.

Mais nous sommes au milieu du 19e siècle, à un tournant de l'économie rurale et industrielle : les besoins ont changé, les méthodes également. Le pillage de la forêt par l'agriculture se ralentit et cesse, les haies à écorce sont progressivement abandonnées, le taillis perd de sa valeur économique, le bois d'œuvre est demandé, les griffages sont intensifiés, le sol se reconstitue et la flore se modifie. L'ancien peuplement bloqué au stade régressif (paraclimax) à

chêne-bouleau évolue vers une forme plus proche du climax : la bruyère régresse puis disparaît ; en même temps se multiplient les herbages, les ronces et toute une série de plantes de l'association du chêne-charme ; le taillis de chêne-bouleau s'étoffe et s'enrichit progressivement en charme jusqu'à dominance totale de ce dernier et élimination complète du bouleau et même du noisetier ; la réserve de chêne-bouleau très claire se transforme par griffages intensifs et martelages sélectifs en une quasi-futaie de chêne pur. Bref, on se trouve un beau jour en présence des peuplements actuels qui nous causent tant de soucis : taillis sous futaie à réserve chargée et même très chargée composée presque exclusivement de chênes, issue de 2 ou 3 griffages serrés ; taillis de charme pur plus ou moins clair ; sol approfondi et enrichi redevenu perméable et frais, où l'activité biologique est assez intense ; en résumé, retour à un état plus voisin du type naturel — encore qu'il reste des stades à parcourir avant d'aboutir au climax — et régression dans le recrutement du chêne. Il y a trois quarts de siècle, quand la réserve disséminée du taillis sous futaie ne comportait que 25 à 40 m^3 à l'hectare, le recrutement des brins était un jeu dans un taillis clair de bouleau, de tremble et de chêne où le charme était pratiquement absent ; il a 50 ans, c'était encore facile avec 50 à 60 m^3 de matériel et un taillis composé pour moitié de bouleau, de tremble et de chêne, pour l'autre moitié de charme et de noisetier ; aujourd'hui, il est difficile de griffer du chêne sous une réserve de 75 à 90 m^3, dans un taillis de charme pur, sur un sol suffisamment profond et frais qu'envahit après l'exploitation une flore de coupe encore peu fournie généralement. Quel est le vrai responsable de l'absence de recrutement : la densité de la futaie, la concurrence du taillis et de la végétation basse, le glissement vers le climat modifiant la nature, la proportion des essences, les propriétés de sol ? Grave problème à étudier sérieusement avant de proposer des solutions définitives qui engagent l'avenir.

Dans le stade progressif où se trouvent actuellement beaucoup de nos taillis sous futaie à réserve dense et à taillis de charme pur, il parait *illusoire* d'espérer un recrutement facile des brins par le simple recours à une réduction drastique du matériel. A notre humble avis, tout ce qu'on obtiendra sera un vigoureux taillis de charme pur aux propriétés étouffantes duquel il n'est pas nécessaire d'insister. Perrin propose, à juste titre, « l'abandon de la pratique actuelle des balivages à couvert régulièrement réparti » et préconise « des balivages par bouquets qui laissent çà et là des larges espaces dégarnis de réserves ». C'est une technique déjà suivie en Belgique, dans certaines régions, et dont nous préconisons l'extension en attendant une solution du problème. Cependant, pour autant que nous puissions en juger, elle n'a pas réussi à assurer un bon recru-

tement des brins ; la végétation basse et les rejets du taillis revigorés par le dégagement étouffent rapidement les semis. La plantation par groupes de sujets assez forts, préconisée par PERRIN et pratiquée en fait dans quelques cantonnements, est une mesure excellente, quoique insuffisante et trop onéreuse dans les conditions économiques actuelles, vu le prix des plants, la *proportion des déchets* et le coût élevé de la main d'œuvre nécessitée par la plantation et les dégagements. Si on doit se résigner à ces onéreuses opérations, pourquoi ne pas envisager le recepage radical de la végétation basse, répété deux ou trois fois, dans « les larges espaces dégarnis de réserves », à l'effet de sauver des bouquets de semis préexistants ou provoqués. Cette pratique combinée avec les balivages par bouquets et le passage fréquent des coupes avec respect du taillis-souille hors des trouées d'ensemencement ne nous conduit-elle pas directement à une sorte de jardinage par groupes ? Dans ce cas, le volume de la réserve serait-il si faible et inférieur à celui que nous constatons dans nos riches taillis sous futaie ? Nous ne le pensons pas (*).

Reste à examiner le faible taux d'accroissement d'une réserve dense dans le taillis sous futaie. PERRIN se basant sur les documents réunis par l'Inspecteur principal de La Hamelinaye, dans les peuplements de la vallée de la Saône, estime qu'un matériel initial de 30 à 40 m^3 à l'hectare donne un accroissement annuel de 1,5 m^3, que ce dernier chiffre ne s'élève que très lentement avec le volume de la futaie, que dans les meilleurs sols, cet accroissement annuel atteint péniblement 2 m^3 avec un volume initial de 60 m^3. PERRIN fait remarquer immédiatement (ce qui semble avoir échappé à la plupart des commentateurs de cette note) que l'augmentation du matériel est normalement dué à la multiplication des anciens à végétation plus ou moins ralentie (**). Ce n'est donc pas parce qu'une réserve comporte de 60 à 90 m^3 à l'hectare qu'elle doit nécessairement avoir un accroissement relativement réduit, mais plutôt parce qu'elle compte un nombre trop important de vieux arbres mauvais producteurs de bois.

Nous avons eu la curiosité, il y a quelques années, de suivre la production de placettes contrôlées par la Station de Recherches

(*) Ce semble être également l'avis de PERRIN : « ...on pourra alors... dépasser largement le *volume critique dont il ne sera plus question* » (12, p. 101).

(**) Voir à ce propos, l'étude très instructive de PERRIN sur l'accroissement des réserves de chêne dans le taillis sous futaie. (Revue des Eaux et Forêts. Avril 1939.) L'accroissement des anciens « sujets d'élite » reste important mais ces élites sont rares dans les sols médiocres. C'est donc seulement dans les bons sols que l'on peut éduquer économiquement des gros anciens !

de Groenendael et d'en analyser la composition. Sur des sols schisteux de Famenne et de Fagne, réputés *très médiocres*, et en fait incapables de faire vivre des chênes de plus de 1,60 m. de circonférence, nous avons constaté des accroissements annuels en bois d'œuvre de ± 3m³ pour un matériel moyen de 90 à 120 m³, la chute de production s'amorçant à 150 m³, encore celle-ci semble imputable non pas au matériel exagéré, mais à l'insuffisance des bois jeunes.

Ces peuplements relativement pauvres en gros bois nous ont inspiré l'étude, par la méthode du contrôle, d'une forme de futaie de chêne jardinée par groupes, traitée à courte rotation. Il n'entre pas dans le cadre de ce mémoire d'exposer les caractéristiques de la courbe d'équilibre et celles du peuplement qui en découle : sachons que ce dernier serait riche en jeunes bois, bien pourvu en bois d'âge moyen et peu fourni en vieux bois ; que pour un matériel normal de ± 115 m³ à l'hectare comportant ± 35 m³ de jeunes bois, ± 50 m³ de bois moyens et ± 30 m³ de vieux bois, l'accroissement en bois d'œuvre serait de ± 3 m³ dont 1,2 m³ pour le passage à la futaie et respectivement 0,8, 0,7 et 0,3 m³ pour les petits, moyens et gros bois. *Le passage à la futaie et l'accroissement des jeunes bois comptent à eux seuls pour les 2/3 de la production totale.* Naturellement, la situation variera avec le milieu et les essences. En sols riches, la proportion des vieux bois sera sans inconvénients plus forte, leur accroissement proportionnellement plus élevé mais la part des jeunes bois dans la production totale sera toujours importante (*). L'équilibre biologique exige le recours raisonné aux essences de complément ou de protection. Certaines, précieuses au point de vue économique, peuvent peser défavorablement sur l'accroissement total, d'autres sont de production peu intéressante techniquement et financièrement, mais quelques unes sont en même temps très productives et très recherchées par le commerce. Il faut noter également que, sur le plan pratique, les prix plus élevés des grosses catégories de chêne viendront adoucir les constatations précédentes.

Les défauts propres aux taillis sous futaie dont la réserve a été fortement enrichie sont réels et sérieux. Il faut principalement en accuser le déséquilibre biologique inhérent au régime lui-même et surtout au mode de traitement (**). Le remède semble être la con-

---

(*) Nous devons à l'amabilité de M. Colette, sous-inspecteur des Eaux et Forêts à Wellin, l'analyse d'un coupon (nº 64) de la hêtraie de Hautfays traitée par la méthode du contrôle. La production à l'hectare y est de 4,90 m³ dont 1,35 m³ pour les gros bois, 1,33 m³ pour les bois moyens et 2,22 m³ pour les petits bois et le passage à la futaie.

(**) Perrin (12, p. 100) dit qu'il « *faut abandonner la chimère de la Futaie sur Taillis* ». Nous ajouterons « et même celle de la Futaie claire ».

version en une forme, voisine de la forêt-climat, de futaie jardinée mélangée d'essences feuillues. Les modalités pratiques sont encore à rechercher : des tentatives méritoires ont été faites (13) ; nous attendons les autres avec le plus vif intérêt.

Chaire d'Economie forestière.
Gembloux, le 31 *décembre* 1948.

BIBLIOGRAPHIE.

1. ..... Compte-rendu de gestion pour l'année 1947 de la Société centrale forestière de Belgique. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique*, 1948. p. 173.
2. Delsaux R. Quelques considérations sur la culture du chêne en Basse et Moyenne Ardenne. *Id.* 1934. nº 9. pp. 361-378.
3. Delsaux R. A propos de la culture du chêne. *Id.* 1939. nº 12. pp. 481-485.
4. E. R. Régénération du chêne et lumière. *Id.* 1935. nº 3. pp. 118-120.
5. Guinier Ph. Commentaires de la note de Perrin (10). *Bull. Soc. forest. de Franche-Comté et des Provinces de l'Est.* Juin 1947. p.56
6. Navez R. A propos du plan de balivage. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique.* 1939, nº 2. pp. 83-84.
7. Pardé L. Questions relatives à la conversion d'un taillis composé en une futaie pleine. *Revue des Eaux et Forêts.* 1931. pp. 734-739.
8. Pardé L. Plan de balivage. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique.* 1938. nº 6. pp. 247-256.
9. Perrin H. La régression du chêne dans les taillis sous futaie du Nord-Est de la France. *Id.* 1935. nº 7. p. 280.
10. Perrin H. Sur l'intensité optima des balivages dans les taillis sous-futaie. *Bull. Soc. forest. de Franche-Comté et des Provinces de l'Est.* Juin 1947. pp. 54-55.
11. Perrin H. Même article. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique.* 1947. nº 6-7. pp. 271-272.
12. Perrin H. Études statistiques sur les taillis sous futaie. *Annales de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences.* Tome X. Fascicule I. 1946.
13. Saur H. Comment traiter les taillis sous futaie en Moselle. *Bull. Soc. forest. de Franche-Comté et des Provinces de l'Est.* Juin 1947. pp. 56-65.
14. Schaeffer L. Le jardinage appliqué aux essences feuillues. *Id.* Juin 1937.
15. Schmitz F. A propos du plan de balivage. *Bull. Soc. centr. forest. Belgique.* 1938. nº 7. pp. 296-298.
16. Toussaint. Les taillis sous futaie en sol riche de la plaine d'Alsace. *Revue des Eaux et Forêts.* 1939, p. 197.

Notes résumées sur l'évolution de l'analyse des engrais

par

Pierre H. MARTENS

Ingénieur des Industries Agricoles Gx.

Chargé de cours à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux.

L'analyse des engrais s'est développée en même temps que leur utilisation : autrefois les chimistes ne disposaient pas, comme aujourd'hui, de méthodes exactes et rapides ; leurs procédés, parfois rudimentaires, étaient longs et lents.

La fabrication et l'extension du commerce des engrais exigèrent l'emploi de méthodes de plus en plus précises et rapides : pour les besoins de leur cause les analystes trouvèrent divers moyens ingénieux.

De tous les procédés préconisés en leur temps, beaucoup n'ont plus qu'un intérêt documentaire ; certains, employés communément autrefois, tombent peu à peu dans l'oubli, parce qu'ils sont sujets à trop de causes d'erreur ; d'autres, quoiqu'irréprochables, mais d'application lente et laborieuse, ont cédé le pas à de plus rapides ; d'autres enfin, peu précis d'abord, puis étudiés, perfectionnés et vérifiés, sont d'usage courant aujourd'hui.

On pourrait reprocher à certains traités et manuels de chimie analytique de présenter les méthodes comme des recettes, décrites à la manière d'un livre de cuisine. Ces descriptions, suffisantes pour le professionnel, parce qu'il les comprend, déroutent le débutant qui ne saisit pas le motif et la cause dans la suite des opérations recommandées.

Nous nous sommes fixé comme but de rechercher les sources et l'évolution des méthodes actuelles employées dans l'analyse des engrais, mettre au jour les motifs des principaux détails opératoires, sans nous laisser entraîner dans de longs commentaires, suivis d'appréciations et de conclusions.

Le nombre de travaux publiés sur l'analyse des engrais est excessivement grand ; nous ne pouvons en rapporter ici qu'un nombre limité parmi les plus intéressants. Ceux qui voudront étudier plus amplement toutes ces méthodes pourront à leur aise consulter, soit les travaux originaux dont nous donnons références, soit les

ouvrages de Frésénius [84, 85, 86, 87, 88], De Koninck [54, 55, 56], Sidersky [293], Pellet [230] et Sicard [289], ainsi que les méthodes de convention utilisées dans différents pays [14, 203, 204, 237, 215, 346].

Nous considérons dans les engrais les trois éléments fertilisants principaux : l'azote, l'acide phosphorique et la potasse.

I. L'Azote.

Dans les engrais on peut rencontrer l'azote sous les divers états suivants : ammoniacal, nitrique et organique. L'azote ammoniacal est celui qui se trouve combiné à l'état de sels ammoniacaux, l'azote nitrique celui qui se trouve combiné à l'état de nitrate et l'azote organique celui qui est engagé dans toute combinaison azotée de provenance animale ou végétale. Par extension on donne aussi le nom d'azote organique à l'azote qui se trouve engagé dans toute combinaison de synthèse appartenant à la chimie organique ; sous cette rubrique il faut surtout considérer l'azote dit cyanamidique provenant de la cyanamide calcique.

A. *Azote ammoniacal.*

Les premiers essais d'utilisation des sels ammoniacaux comme engrais, dus à Kuhlmann [166], datent de 1848 ; depuis lors leur usage s'est largement étendu, surtout dans certains pays à culture intensive et principalement en Belgique.

Au point de vue analytique les sels ammoniacaux sont décomposés par les bases fortes et dégagent à la distillation en milieu aqueux la totalité de leur ammoniaque [84, 256]. Les bases utilisées étaient primitivement la soude et la chaux, Boussingault [34] conseilla ensuite la magnésie qui est sans action sur la plupart des matières organiques azotées, mais qui, par contre, possède l'inconvénient de ne pas décomposer le phosphate ammoniacomagnésien, sauf toutefois après dissolution avec un peu d'acide chlorhydrique (Berthelot et André [22]).

L'appareil distillatoire se compose en principe d'un ballon à distiller, d'un réfrigérent et d'un récepteur. Signalons particulièrement l'appareil de Schloesing-Aubin.

La totalité de l'ammoniaque est dégagée, lorsque les 2/3 du liquide sont distillés (Boussingault [34]) ; mais on peut encore accélérer le dégagement par un courant de vapeur d'eau (Honig et

Spitz [126], Rudorf [259]) ou par addition d'alcool (De Koninck [58], Neumann [218]).

Pour éviter l'entraînement de particules de liquide avec la vapeur on fait usage d'un déflegmateur, artifice quelconque destiné à produire dans le courant gazeux une perte de charge et provoquer le rassemblement et le reflux des particules liquides ; il existe de nombreux modèles de déflegmateur : les plus simples sont constitués par un renflement assez long du tube surmontant le ballon à distiller ou par une boule.

L'ammoniaque distillée est recueillie dans un petit ballon contenant un volume mesuré de solution d'acide titré. Autrefois on y déterminait la quantité d'ammoniaque, soit par transformation en chloroplatinate d'ammoniaque (Rose [256]) semblable au chloroplatinate de potasse, soit par transformation en chlorure ammonique (Frésénius [84]) en neutralisant par l'acide chlorhydrique, évaporant à sec au bain-marie et pesant le résidu.

Ces opérations ont l'inconvénient d'être longues ; à Bineau [28] et Péligot [228] revient l'honneur de mettre au point la détermination titrimétrique de l'alcalinité ammoniacale : le distillat est reçu dans un volume mesuré d'acide titré. L'excès d'acide est ensuite déterminé par une solution titrée de soude ou d'ammoniaque : la différence correspond à l'ammoniaque distillée.

Le choix de l'acide possède une certaine importance : Péligot [228] utilisait l'acide sulfurique ; aujourd'hui beaucoup l'imitent encore. L'acide chlorhydrique aurait certains avantages, en particulier sa monobasicité, quoique la différence théorique de basicité des deux hydrogènes de l'acide sulfurique ait dans la pratique une influence minime.

Winckler [337] tente d'introduire l'acide borique : la faible valeur de son ionisation le rend insensible à certains indicateurs (méthylorange) ; on peut alors titrer l'ammoniaque directement avec une solution d'acide fort : l'acide borique jouerait donc simplement le rôle d'absorbant.

Grégoire [111] trouve inutile l'absorption de l'ammoniaque par un acide ; la solubilité dans l'eau est assez grande pour qu'au cours des manipulations il n'y ait pas de perte en gaz ammoniac à la condition de protéger l'extrémité de l'appareil par un petit tube à boules garni d'eau froide ; on joindra ensuite cette eau au distillat.

Du choix de l'indicateur dépend l'exactitude de la titration ; la théorie des indicateurs (Kolthof [158]) nous apprend en effet qu'un

indicateur convient à la titration d'une base faible par un acide fort avec un minimum d'erreur, lorsque le pH de virage de l'indicateur est plus petit que le pH du sel produit en solution ; ainsi une solution n/10 de chlorure ammonique pur possède un pH de 5,12 et les solutions plus diluées ont un pH supérieur mais toujours plus petit que 7 ; les indicateurs les plus convenables seront donc ceux dont la zone de virage est située sous le pH 5, en pratique le rouge de méthyle (Rupp et Loose [262]) zone de virage : pH 4,4-6,2 et le méthylorange (Lunge [181]), zone de virage 3,0-4,4 ; l'usage de ce dernier se justifie surtout lorsque la distillation est faite sur magnésie : le distillat contient alors du carbonate ammonique, or, le virage du méthylorange n'est pas sensible à l'acide carbonique.

L'une des matières colorantes des plus employées autrefois, le tournesol, est abandonnée aujourd'hui dans le titrage de l'ammoniaque ; sa zone de virage (pH5,0-8,0) se trouve déjà en dehors des limites désirées ; les considérations énoncées plus haut expliquent pourquoi la phénolphtaléine (pH 6,2-10,0), ne convient pas, ce qui expérimentalement est constaté depuis longtemps (Beckurts [21]).

Une cause d'erreur, légère il est vrai, réside dans l'emploi de réfrigérant en verre tendre ; l'alcali du verre, surtout lors des premiers dosages, s'ajoute à l'ammoniaque et provoque une erreur par excès ; pour remédier à cet inconvénient, Reinitzer [247] conseille de faire passer pendant plusieurs heures un courant de vapeur d'eau dans les tubes neufs ou de faire usage de tubes en verre durs peu attaquables.

B. *Azote nitrique.*

Les anciennes méthodes de Lavoisier [169], Gay-Lussac [96], Joulie [143], Persoz [238] et Reich [246], qui autrefois intéressaient plus particulièrement le nitrate de potasse (salpêtre) et s'appliquent en général aussi au nitrate de soude (sel du Chili), mais pas au nitrate d'ammoniaque, sont peu connues dans l'analyse des engrais. La mise au point de méthodes plus rapides et la nature des mélanges fertilisants, où le plus souvent, elles ne peuvent pas s'appliquer, en sont les causes.

Pendant longtemps on a déterminé dans le nitrate du Chili la somme des impuretés ; la différence constituait le nitrate de soude (F. Jean [136]).

Aujourd'hui la détermination des nitrates dans les engrais se fait presqu'uniquement par réduction en ammoniaque ou par dégagement et mesurage d'oxyde d'azote.

a) Réduction en ammoniaque.

Le première observation signalée à ce sujet semble due à KUHLMANN [167] en 1838 : l'hydrogène naissant, produit par la réaction du zinc sur l'acide sulfurique réduit l'acide nitrique en ammoniaque.

En 1853 MARTIN [189], reprenant ces travaux, prétendit qu'en solution acide la transformation n'était pas complète. Le fait fut confirmé plus tard par TERREIL [303].

SCHULZE [279], en 1891, appliqua ce principe en milieu alcalin et décrivit une méthode dans laquelle la réduction des nitrates est obtenue en solution alcaline par l'action du zinc platiné.

L'anné suivante, WOLF [339] indiquait comme conditions de réussite

1. la nécessité d'opérer à froid ;

2. la production d'un dégagement régulier d'hydrogène, obtenu par l'action combinée du zinc et du fer ;

3. le maintien de la concentration de l'alcali dans des limites définies, assez étroites (10-12 %).

Ces conclusions furent controuvées plus tard et particulièrement par HARCOURT [119] qui utilisait la potasse de densité 1,3 diluée de moitié (concentration finale 14 %) ; la réduction de 0,5 gr de KNO_3 est effectuée à l'ébullition par un mélange de 50 gr de zinc finement granulé et 25 grs de limaille de fer tamisée.

SIEWERT [290], de son côté, travaillait avec 4 grs de limaille de fer et 8-10 de limaille de zinc pour 1 gr de nitrate potassique ; la réduction s'opérait dans une solution de 15 gr de KOH solide dans 100 cc d'alcool de densité 0,825. On peut activer la réaction par une douce chaleur, mais la distillation de l'ammoniaque ne s'opère qu'après 1 heure.

Alors que FINKENER [80] rejetait en bloc toutes les méthodes basées sur ce principe, d'autres chercheurs tentaient d'en améliorer le rendement et le rendre quantitatif par l'utilisation d'association de métaux (mélanges et alliages) régulateurs de la réaction.

Ce furent d'abord les mélanges limaille de fer et zinc qui furent de mode (SCHULSZE [279], HARCOURT [119], SIEWERT [290], etc.) ; puis le zinc cuivré ou platiné (SCHULZE [279], GLADSTONE et TRIBE [99], THORPE [306] etc.) l'aluminium (SCHULZE [279], JEAN [137]), les amalgames (SCHULZE [279], DEWILDE [65]), et enfin les alliages (DEVARDA [64], STOKLASA [298] ; WOY (342)).

L'alliage de DEVARDA (Cu 39 %, Al 50 %. Zn 2 %) est particulièrement friable et d'action rapide. Pour 0,5 gr de nitrate on utilise 20 cc de NaOH (dens. 1,3) dans 150 cc d'eau, 5 cc d'alcool et 2 grs d'alliage pulvérisé,

La réaction produit un réchauffement de la masse ; on maintiendra

une douce chaleur en chauffant doucement sans distiller. Après 1 heure on distille l'ammoniaque, entraîné plus facilement par l'alcool.

Dans les méthodes alcalines, il existe un rapport minimum entre la quantité de nitrate à transformer et la quantité de métal réducteur à utiliser. C'est pour ce motif que beaucoup d'auteurs ne décrivent guère que des variantes basées sur des proportions différentes des réactifs utilisés.

La réduction des nitrates en solution acide fut étudiée par de nombreux chercheurs avec des succès divers. Alors que Martin [189], Kinnear [150], Bunsen [38], Hager [115] cherchaient les meilleures conditions à réaliser en employant le zinc en milieu sulfurique, Schmit [275] essayait l'action du mélange fer et zinc en milieu acétique ; mais c'est Ulsch [310] qui fait époque en la matière. Il utilise le fer pyrophorique et l'acide sulfurique dans des conditions définies : 0,5 gr au maximum de nitrate dans 25 cc d'eau, 5 grs de fer pyrophorique et 10 cc d'acide sulfurique de densité 1,35. Après quelques instants de réaction à froid, on chauffe lentement à l'ébullition. Après 10 minutes, la réduction est terminée ; mais il est nécessaire de prendre quelques précautions élémentaires pour éviter les projections. L'emploi du fer ne provoquerait pas, ce qui arrive avec le zinc, la production de composés azotés intermédiaires, facilement décomposables exposant donc à des pertes d'azote.

On peut encore obtenir la réduction de l'acide par électrolyse Vortmann [317], Ulsch [317], mais pareilles méthodes ne conviennent qu'aux nitrates alcalins purs, parce que les différentes substances qui constituent les engrais et notamment les chlorures nuisent à l'exactitude des résultats.

La réduction des nitrates en milieu neutre a été appliquée par Arnd [6] en 1917 : elle est basée sur le fait que dans une solution contenant du chlorure magnésique, un alliage de zinc-cuivre réduit les nitrates en ammoniaque ; la réduction s'opère petit à petit en cours de distillation en présence de magnésie calcinée. L'opération n'exige donc qu'un minimum de manipulations, et le dosage des nitrates peut être fait sur le résidu de distillat de l'azote ammoniacal. Plus tard Arnd [7,8] remplaça l'alliage contenu par la poudre de zinc cuivré.

De ces méthodes ne sont passées dans la pratique de l'analyse des engrais que celles de Devarda et d'Ulsch.

b) Dégagement et mesurage d'oxyde d'azote.

A l'ébullition en solution acide, l'acide nitrique réagit avec

les sels ferreux en les transformant en sels ferriques, simultanément il se dégage de l'oxyde d'azote, qui au contact de l'oxygène se transforme en peroxyde d'azote (vapeurs rutilantes).

La réaction fut signalée par Desbassin et Richemont [63] en 1835 ; Grossart [112] et Pelouze [23], l'utilisèrent pour doser les nitrates par titrimétrie en déterminant par différence la quantité de fer oxydée.

Pour doser les nitrates dans les tabacs, Schloesing [271] recueillait sur le mercure l'oxyde dégagé par la réaction des nitrates sur une solution bouillante de chlorure ferreux. L'oxyde d'azote recueilli était retransformé en acide nitrique par l'oxygène gazeux, absorbé par l'eau et titré par une solution alcaline.

Cette méthode compliquée fut modifiée par son auteur pour être appliquée aux engrais. Grandeau (104) la décrit comme suit : on mesure d'une part la quantité d'oxyde d'azote dégagée par une solution de nitrate de soude de titre connu (10 cc d'une solution de $NaNO_3$ à 33 grs par litre dégage un volume de NO variant de 91 à 99 cc suivant les conditions de pression et de température) et, d'autre part, la quantité d'oxyde d'azote dégagé dans les mêmes conditions par l'échantillon examiné. On s'applique à obtenir dans les deux déterminations des volumes approximativement égaux pour annuler les diverses causes d'erreur possibles et obtenir une comparaison optima.

Schloesing [271, 272] a recommandé pour appliquer sa méthode un appareil et surtout une cuve spéciale, mais Frésénius [88] considère que l'appareil légèrement modifié par Wagner [322] est plus convenable et plus facile à construire.

De Koninck [55, 56] a aussi proposé une modification de cet appareil; elle réside dans une plus grande longueur du tube de dégagement qui plonge dans un petit godet à mercure placé sous l'eau. Ce tube agissant comme tube barométrique empêche la montée de l'eau vers le ballon et ses conséquences désastreuses.

On construit aussi des tubes de dégagement munis d'une petite soupape à plongeur qui s'obture dès que l'eau l'atteint.

La méthode de Schloesing est applicable dans tous les cas où il ne se dégage pas d'autres gaz que l'oxyde d'azote.

Lorsqu'un engrais contient des carbonates solubles, il faut ou bien séparer l'oxyde d'azote et l'acide carbonique ou bien éliminer l'acide carbonique avant de déterminer l'acide nitrique. La première solution consiste à recueillir les gaz sur une solution alcaline qui absorbe l'acide carbonique ; dans la seconde on fait d'abord bouillir légèrement la solution à analyser avec un léger excès d'acide acétique : les carbonates sont décomposés sans que les nitrates soient modifiés (De Koninck [59]).

Les nombreuses études sur cette méthode concluent à sa valeur exceptionnelle et les modifications proposées n'en améliorent pas les conditions d'exactitude et de rapidité.

C. Azote organique.

On entend par azote organique, celui qui se trouve combiné sous une forme relevant de la chimie organique (chimie des composés du carbone) et plus spécialement celui qui se trouve à l'état de combinaison dans les matières appartenant au règne végétal ou animal.

Quoique déjà très ancienne, la méthode de dosage de l'azote à l'état élémentaire due à Dumas [71] reste toujours la méthode de référence, car elle s'applique à tous les cas ; malheureusement elle est longue, lente et d'application assez délicate.

Le dégagement de l'ammoniaque sous l'effet de la calcination en présence de chaux sodée (Warrentrap et Will [317]), conjuguée avec le dosage titrimétrique de l'ammoniaque suivant Péligot [228], constitue une méthode déjà plus rapide ; mais elle ne s'applique pas directement en présence de nitrate. Pour transformer ces derniers en ammoniaque, il faut choisir certains réducteurs et les mélanger à la chaux sodée. C'est ainsi qu'on a utilisé :

le soufre et la chaux (de Mollins [206]) ;
l'hyposulfite de soude (Rufle [260]) ;
les acétates alcalins (Houzeau [126], Guyard [114]).
le soufre et les oxalates alcalins (Boyer [35]).

La méthode si rapide et si pratique de Kjeldahl [150] a provoqué progressivement l'abandon de presque toutes les autres ; beaucoup plus économique, elle permet le travail en série sur des matières restées grossières ou même liquides ; elle fournit peut-être parfois des résultats qui sont un peu plus faibles que ceux de la méthode Dumas, mais qui restent largement suffisants dans la pratique habituelle.

Depuis sa publication en 1883, la méthode de Kjeldahl fut utilisée, étudiée, complétée et remaniée par de très nombreux auteurs ; nous ne pouvons pas les énumérer, nous citerons seulement ceux qui ont apporté quelque nouveauté dans la manière d'opérer.

La méthode de Kjeldhal comporte deux phases bien définies : la destruction de la matière organique et la distillation de l'ammoniaque.

1re phase. Destruction de la matière organique.

a) Le liquide d'attaque.

Kjeldahl [150] détruisait la matière organique par ébullition dans l'acide sulfurique concentré : d'abord noir, le liquide s'éclaircit peu à peu jusqu'au jaune paille ; l'oxydation était alors parachevée en projetant dans l'acide du permanganate en poudre.

Un tel mode opératoire nécessitait une très longue ébullition et une des premières préoccupations des chimistes fut d'en raccourcir la durée.

Dès 1885 Wilfahrt [336] découvrait que l'addition de certains oxydes, et particulièrement ceux de mercure et de cuivre, accélère dans une notable mesure la vitesse d'action de l'acide. On peut remplacer les oxydes par le métal, le sulfate ou même l'acétate. Dans certaines Stations agronomiques allemandes la matière pesée est enroulée dans une mince feuille de cuivre et ainsi introduite dans le ballon d'attaque.

Après Wilfahrt, d'autres chercheurs réussirent à diminuer encore la durée de l'opération en élevant la température d'ébullition de l'acide,

soit par addition d'acide sulfurique fumant,
soit d'anhydride ou d'acide phosphorique,
de sulfate de potasse (Gunning [113])
ou bien encore un mélange de ces divers adjuvants.

La recherche des auteurs qui ont étudié cette question se résume en une classification sur la nature des réactifs d'attaque : les uns sont destinés à augmenter la température d'ébullition du liquide, les autres agissent comme cataliseurs d'oxydation, d'autres enfin sont de véritables oxydants. Il en résulte un nombre incalculable de procédés divers, chaque auteur défendant son point de vue particulier.

Voici quelques-uns des liquides et des adjuvants les plus connus et les plus généralement recommmandés.

Auteur	Liquide acide	Adjuvant
Kjeldahl [154]	20 cc. H^2SO^4 conc.	$KMnO^4$ sec en poudre
Wilfahrt [335]	20 cc. d'un mélange de 3/5 H^2SO^4 conc. et 2/5 H^2SO^4 fumant	0.7 gr. Hg
Gunning [113]	20 cc H^2SO^4 conc.	$CuSO^4$. Hg. K^2SO^4
Kulisch [166]	20 cc. d'un mélange de 1.000 cc. H^2SO^4 conc et 200 gr. P^2O^5	1 gr. Hg.
Maercker [185]	20 cc. d'un mélange de 4 vol. H^2SO^4 conc. et 1 vol H^2SO^4 fumant	2 gr. P^2O^5
Ulsch [309]	20 cc. d'un mélange de 1.000 cc. H^2SO^4 conc. et 200 gr. P^2O^5	0,05 gr. $cuSO^4$, 0,04 gr. H^2 Pt Cl^6

Auteur	Liquide acide	Adjuvant
Arnold et Wedemeyer [10]	20 cc. H^2SO^4 conc contenant 25 % P^2O^5	1 gr. Hg + 0.5 gr. cuSO
Wunder et Lascar [346]	25 cc. H^2SO^4 + 5cc. H^3PO^4 conc.	0.5 gr. VO^3
Milbauer [201] / Lauro [169]	20 cc. H^2 SO^4 conc.	K^2SO^4, Cu SO^4, Se.

Reitmair et Stutzer [252] regardent l'addition d'acide sulfurique fumant ou d'acide phosphorique comme superflue ; la transformation des matières azotées peut devenir complète avec l'acide sulfurique seul, pourvu que l'ébullition soit prolongée suffisamment, comme l'a reconnu Kjeldhal lui-même [155].

Actuellement, le plus souvent (Méthodes de convention [203]) on utilise l'acide sulfurique concentré, et lorsque la désagrégation de la matière est terminée, on ajoute le mercure, le cuivre et le sulfate de potasse.

Souvent il arrive qu'au commencement de l'attaque par l'acide, sous l'influence de la chaleur il se forme d'abondantes mousses : pour diminuer cet inconvénient Maercker [185] ajoute d'abord 5 cc d'acide sulfurique concentré et chauffe sur une petite flamme pour charbonner la matière ; lorsque ce charbonnement est terminé, il n'y a plus d'inconvénient à ajouter la totalité de l'acide. Dans l'attaque de fortes prises d'essai (pailles), Grégoire [100] recommande d'agglomérer la matière avec un peu d'acide, l'échauffement qui se produit suffit pour produire le charbonnement.

Lorsque l'échantillonnage est difficile parce que la matière se laisse difficilement diviser, on peut opérer comme suit :

1) suivant Dreyfus [69]. On chauffe une forte prise d'essai dans une capsule avec de l'acide sulfurique concentré ; quand la matière s'est dissoute en un brouet noir, on porte à un volume ou un poids déterminé avec de l'acide concentré, on agite et on dose l'azote sur une quotité.

2) suivant Grandeau [163, 104, 105]. On chauffe une forte prise d'essai avec de l'acide sulfurique concentré dans une capsule tarée. Quand la masse est suffisamment attaquée, on ajoute du carbonate de chaux en poudre jusqu'à obtenir une masse qu'on peut aisément broyer. Sur une quotité de cette masse on dose l'azote.

b) Le rôle des adjuvants.

Après les découvertes de Wilfahrt et de Gŭnning, Dafert [50] d'abord, puis ensuite Blau et Wallis [30], tentèrent les premières

explications au sujet du rôle de chaque réactif dans la destruction des matières organiques suivant la méthode de KJELDAHL.

L'acide sulfurique concentré agit comme oxydant et déshydratant ; il désagrège et détruit la matière organique et fixe l'eau et l'ammoniaque.

L'anhydride sulfureux, produit dans la réaction de l'acide sulfurique sur les matières carbonées, contribue à maintenir au sein du liquide une atmosphère réductrice, telle qu'elle empêche la destruction des produits ammoniacaux.

L'acide sulfurique fumant (anhydride sulfurique) et l'acide phosphorique ainsi que le sulfate de potasse ont pour but d'élever la température d'ébullition du mélange acide : ils portent au maximum les actions de l'acide sulfurique. L'usage répété de ces adjuvants provoque l'attaque des ballons et leur usure rapide. En ce qui regarde l'emploi du sulfate de potasse, il semble que la meilleure formule corresponde à une partie de sulfate pour deux à deux et demie d'acide sulfurique ; une plus forte quantité de sulfate peut donner lieu à une perte en azote, comme l'a démontré SELF [284].

Les oxydes métalliques jouent le rôle de transporteurs d'oxygène en subissant des alternatives d'oxydation et de réduction au sein du liquide grâce à leur propriété d'exister à des états différents d'oxydation. Ce rôle de transporteur d'oxygène n'est pas limité aux sels de mercure et de cuivre, il est encore attribué par ULSCH [310] au chlorure de Platine, par OEFELE [224], WUNDER et LASCAR [345] à l'acide vanadique et récemment au Sélénium par MILBAUER [201, 202], LAURO [160] et MESSMANN [197].

Quelques auteurs considérent qu'il est préférable de parfaire l'oxydation avec un composé oxygéné : KJELDAHL [154] utilisait le permanganate, KRÜGER [162] le bichromate, MAERS et HUSSEY [186], YOÉ [347] l'acide perchlorique, KEREMAN [155], UTZ [312] et JUSTIN-MUELLER [145] le perhydrol.

L'emploi de l'acide perchlorique ou du perhydrol permet de détruire de grandes quantités de matières organiques en utilisant relativement peu d'acide sulfurique : les résidus de l'oxydation sont facilement éliminés par volatilisation.

c) La durée de l'ébullition.

Dans la méthode primitive de KJELDAHL l'ébullition durait longtemps ; l'utilisation d'adjuvants réduit la durée de l'ébullition à 15-20 minutes ; cependant il s'établit un doute au sujet de la transformation complète des matières azotées organiques en ammoniaque après un temps aussi court ; certains chimistes pensent que la transformation n'est pas encore terminée lorsque le liquide

s'est éclairci jusqu'à devenir limpide, et que donc, ce point étant atteint, il faut encore maintenir l'ébullition pendant un temps plus ou moins long : de 15 à 30 minutes.

Même nous observons dans certaines méthodes de convention [203] que pour les cyanamides l'ébullition doit être maintenue pendant une heure.

Les études effectuées dans le but de mettre au point un réactif et une technique destinés à réduire au minimum la durée de la transformation complète des composés azotés en ammoniaque sont très nombreuses ; MILBAUER [202] en publie une longue liste. D'après cet auteur la durée minima serait acquise par l'emploi d'une association d'adjuvants constituée par un mélange de mercure et d'oxyde de sélénium en proportions définies.

Il est encore un point sur lequel il est bon d'attirer l'attention : malgré les perfectionnements y apportés, la méthode de KJELDAHL donne en général des résultats insuffisants en présence de composés organiques appartenant à la série pyridique ; heureusement, il est rare de rencontrer pareils composés en quantité appréciable dans les matières organiques d'origine végétale ou animale qu'on rencontre communément dans les engrais, et on peut donc faire abstraction de cette cause d'erreur dans ce cas particulier.

2e phase. La distillation de l'ammoniaque.

L'attaque terminée et le liquide refroidi, on transvase quantitativement le contenu du ballon d'attaque dans un ballon à distiller et on dilue avec suffisamment d'eau, puis on neutralise avec la soude ou la potasse et distille l'ammoniaque.

Cette distillation n'offre de spécifications particulières que sur les points suivants :

1. Pour éviter les soubresauts on ajoute de la pierre-ponce en grains ou un peu de poudre de zinc. Cependant la poudre de zinc est à prohiber, si la lessive alcaline contient des nitrates, car ceux-ci seraient réduits et transformés en ammoniaque, d'où erreur par excès FRÉSÉNIUS [88] recommande plutôt la lessive de potasse : les soubresauts y seraient moindres qu'avec la lessive de soude.

2. Dans le cas d'utilisation d'adjuvants, on constate que ceux-ci peuvent retenir un peu d'ammoniaque à l'état de combinaison amidurée, d'où erreur par défaut. (WILFAHRT [336]). Pour libérer cette ammoniaque, il est nécessaire de détruire la combinaison : on obtient ce résultat en précipitant le métal, soit à l'état de sulfure, soit à l'état métallique.

Pour produire cette précipitation, on a successivement proposé

dans le cas d'utilisation du mercure : le sulfure de sodium (Wilfahrt [336]), le zinc en poudre (Kulisch [166]), l'hyposulfite de soude (Neuberg [216], Salkowsky [263]) le soufre (Nolte [219]), le xhantogénate de potasse (Neuberg [215]), l'hypophosphite de soude (Maquenne et Roux [187]) ; dans le cas d'utilisation de l'acide vanadique : le fer métallique en fils dans la solution acide (Wunder et Lascar [345]).

Certains auteurs prétendent que le cuivre doit aussi être précipité mais en général cette assertion est peu admise ; d'ailleurs la plupart des précipitants du mercure agissent aussi sur les sels de cuivre et ceux-ci sont automatiquement précipités.

Dans l'emploi du sélénium on ne fait pas usage de précipitant.

Dans la pratique courante prédomine l'emploi du sulfure de soude, malgré l'inconvénient de donner un distillat fleurant l'acide sulfhydrique ; l'emploi de l'hyposulfite ne donne pas cet inconvénient, mais une précipitation complète en demande une quantité assez considérable, relativement.

Enfin signalons encore que la distillation s'opère avantageusement dans des ballons en cuivre rouge de Ribert (Kjeldahl, Ribert [155]) soudés à l'argent : les pertes de calorique y étant moindres qu'avec des ballons en verre, la distillation y est beaucoup plus rapide.

Quant à la titration de l'ammoniaque, elle n'offre plus rien de particulier ; les considérations vues précédemment restent en place.

D. *Mélange de diverses formes d'azote.*

Lorsque deux ou trois formes d'azote se trouvent en mélange, la difficulté du dosage se fait surtout sentir si l'une de ces formes se trouve en quantité très faible par rapport à l'une des autres.

Ainsi les mélanges d'azote ammoniacal et nitrique sont faciles à séparer de même que ceux d'azote ammoniacal et organique, sauf si l'azote organique provient de composés facilement transformables en ammoniaque à la température de l'ébullition. Schloesing [270] propose alors d'extraire à froid l'ammoniaque par déplacement au moyen d'un lait de chaux sous vide partiel : l'ammoniaque dégagé est absorbé par une quantité mesurée d'acide titré placé à proximité ; l'opération dure plusieurs jours.

Les difficultés se présentent surtout quand l'azote nitrique est mélangé à l'azote organique.

La méthode de Devarda [64] ne peut pas s'appliquer en présence de matières organiques azotées (Freehling et Grouwen [94]) ; tout au plus celle de Ulsch [310] peut-elle être utilisée, sous la condition

de distiller l'ammoniaque, formé par la réduction, en présence de magnésie calcinée. La méthode Arnd [6, 7, 8] peut souvent donner satisfaction ; celle de Schloesing-Grandeau [271, 272] est applicable en tous cas, pour la détermination de l'azote nitrique.

En présence de nitrates la méthode de Kjeldahl ne peut pas s'appliquer directement; pour doser la somme des différentes formes d'azote, il est nécessaire de fixer préalablement l'acide nitrique. Les conditions d'une fixation exacte et complète ont d'abord été décrites par V. Asboth [13] : l'acide benzoïque possède la propriété de s'unir à l'acide nitrique pour former un composé nitré ; celui-ci doit être réduit en composé aminé et ce dernier transformé en ammoniaque par l'acide sulfurique concentré bouillant.

Actuellement, nous possédons deux importantes applications de ce principe.

Dans la première, due à Jodlbaur [133], l'acide nitrique est fixé par le phénol en solution dans l'acide sulfurique concentré froid ; la réduction s'opère au moyen du zinc en poudre ajouté peu à peu ; après une digestion assez longue, car l'attaque du zinc est assez lente, on continue comme dans la méthode de Kjeldahl.

Dans la seconde, due à Förster [82, 83] la fixation s'opère par une solution à 6 % d'acide salicylique dans l'acide sulfurique concentré froid, la réduction est produite par de l'hyposulfite en cristaux projeté en une fois dans l'acide (production de $SO^2 + S$) ; on chauffe aussitôt et continue suivant Kjeldahl.

En principe, ces modifications se montrent excellentes lorsqu'on se trouve en présence de peu de nitrate dans une matière organique ; mais, en présence de peu de matière organique azotée dans un engrais riche en ammoniaque et en nitrate, de très petites différences inévitables dans les dosages de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique influencent fortement le résultat en azote organique, surtout si celui-ci se détermine par différence.

Dans ce cas il est toujours préférable d'éliminer d'abord les formes ammoniacales et nitriques avant de doser l'azote organique seul dans les résidus. L'ammoniaque s'élimine au mieux par distillation sur la magnésie (voir dosage de l'azote ammoniacal) ; les nitrates s'éliminent du résidu par l'action du chlorure ferreux en solution chlorhydrique à l'ébullition (Warrington [329], Reitmair [250,251], Densch [61]). Sur le nouveau résidu on effectue le dosage de l'azote organique suivant Kjeldahl. Cependant, au lieu d'ajouter directement de l'acide sulfurique concentré, il est préférable d'ajouter de l'acide sulfurique dilué de moitié ; cet artifice évite le brusque dégagement de vapeurs d'acide chlorhydrique.

On a aussi recommandé la réduction des nitrates par l'acide

formique (Quartaroli [245]) ; ce procédé n'est pas entré dans la pratique.

L'élimination des nitrates en présence de sels ammoniacaux se montre souvent comme une cause d'erreur ; on se trouve, en effet, devant les réactions suivantes :

a. La formation d'eau régale ($HCl + HNO^3$) ; le chlore produit réagit sur les sels ammoniacaux et en provoque une destruction partielle plus ou moins importante en transformant l'ammoniaque en chlorure d'azote (Reitmair [250, 251]). Pour empêcher cette transformation, Meurice et Cartiaux [198] recommandent l'addition de quelques gouttes d'essence de térébenthine ; par ses liaisons non saturées, celle-ci agirait comme fixatrice du chlore.

b. La formation d'oxyde d'azote. Cette formation, qui est normale, donne lieu au contact de l'oxygène de l'air à la production de bioxyde d'azote ; ce dernier avec les vapeurs d'eau donne naissance à un mélange d'acide nitrique et nitreux. L'acide nitreux réagit avec les sels ammoniques en formant du nitrite d'ammoniaque, lequel sous l'influence de la chaleur se décompose en eau et en azote élémentaire. (Reimair [250, 251]). Dans ces conditions, il arrive que la détermination de la somme Azote ammoniacal + Azote organique soit exposée à une erreur par défaut d'une importance assez sérieuse.

La distillation de l'ammoniaque avant l'élimination des nitrates possède donc une importance.

II. L'ACIDE PHOSPHORIQUE

La seule forme d'acide phosphorique assimilé par la plante est l'acide orthophosphorique fourni à l'agriculture par les phosphates naturels, os, guanos, superphosphates, phosphates précipités ou désagrégés, phosphates alcalins et scories de déphosphoration.

Ces divers phophates ne possèdent pas la même valeur agricole ; ils ne sont pas solubles dans les mêmes réactifs ; ils sont donc analysés au moyen de méthodes différentes que nous allons étudier.

A. *Préparation des solutions.*

1. *Acide phosphorique total.*

Autrefois le dosage de l'acide phosphorique nécessitait la préparation d'une solution de laquelle on avait éliminé tous les métaux, sauf les alcalins et la magnésie ; le principe en était posé par une méthode due à Berzélius [24] que nous trouvons décrite ainsi dans

Rose [256, 257] : La prise d'essai mélangée de six fois son poids de silice en poudre et deux fois son poids de carbonate de soude sec était soumise à fusion ; la matière était ensuite traitée par l'eau, puis par une solution de carbonate ammonique pour insolubiliser la silice ; on filtrait et on évaporait le filtrat avec un peu d'acide chlorhydrique, reprenait par un peu d'ammoniaque et filtrait ; le filtrat est ainsi exempt de métaux autres que les alcalins et de silice, on y dosait alors l'acide phosphorique par la mixture magnésienne.

D'une autre manière on peut aussi entraîner l'acide phosphorique dans une combinaison insoluble soit avec l'hydrate ferrique, soit avec l'étain. Berthier [23] et Herschel [121] ajoutaient un léger excès de sels ferriques et précipitaient ensemble hydrate et phosphate ferrique ; le précipité recueilli était redissous dans un peu d'acide chlorhydrique ; on en séparait le fer par l'acide sulfhydrique et éventuellement la petite quantité de chaux par l'acide sulfurique et l'alcool ; dans le filtrat on évaporait l'alcool et on précipitait l'acide phosphorique par la mixture magnésienne. Reissig [248] entraînait l'acide phosphorique par l'acide métastannique (étain et acide nitrique) ; le précipité redissous dans l'eau régale était privé d'étain par addition d'ammoniaque et de sulfate ammonique, on filtrait et dans le filtrat on dosait l'acide phosphorique comme à l'habitude.

Depuis la diffusion des méthodes molybdique et citromécanique ces procédés sont tombés dans l'oubli ; la méthode de Berzélius subsiste cependant, car elle est aussi en usage dans le dosage du fluor ; on la trouve encore décrite dans certains ouvrages américains pour le dosage de P^2O^5.

Aujourd'hui la séparation directe de l'acide phosphorique en présence des éléments rencontrés habituellement dans l'analyse des engrais se fait directement dans la solution du phosphate.

Frésénius [88] recommande de dissoudre l'engrais dans les acides chlorhydrique ou nitrique quand il y a peu de matières organiques ; dans l'éventualité contraire il faut calciner la prise d'essai avec un mélange de 4 à 5 parties de carbonate de soude pour une de nitrate, puis reprendre le résidu par l'eau et l'acide chlorhydrique ou nitrique dilué.

Grahams [102] propose l'emploi de l'acide sulfurique à 5 % pour solubiliser les phosphorites et Lasne [167] recommande l'acide sulfurique concentré bouillant. L'emploi de ce dernier, surtout additionné d'un peu d'acide nitrique, a comme principaux avantages l'oxydation des matières organiques et du phosphore qu'elles peuvent contenir, l'insolubilisation directe de la silice et l'élimination

du fluor : le filtrat obtenu est moins riche en chaux, mais par contre plus acide que par emploi des acides chlorhydrique ou nitrique.

L'eau régale possède ses partisans (JORGENSEN [139, 141]) : son attaque est rapide et son pouvoir d'oxydation très fort, mais le dégagement de chlore et la nécessité d'une évaporation à sec pour réduire au minimun la quantité de chlorures en sont ses principaux inconvénients.

2. *Acide phosphorique soluble dans l'eau.*

C'est en 1840 que J. VON LIEBIG recommande de transformer par l'acide sulfurique les phosphates naturels en superphosphate (monocalcique) soluble dans l'eau ; sur cette base LAWES et GILBERT, en 1842, fondent l'industrie des superphosphates.

Les supers étaient, et sont encore pour la plupart, vendus suivant leur titre en P^2O^5 soluble dans l'eau : on fut bientôt en présence de deux modes de détermination.

Dans le premier, défendu par FRÉSÉNIUS [92], on épuise la prise d'essai sur filtre par additions successives d'eau et on dose P^2O^5 dans le filtrat.

Dans le second, la prise d'essai est digérée dans un volume d'eau déterminé : P^2O^5 est dosé dans la solution filtrée.

Le choix de l'une ou de l'autre de ces méthodes donna lieu à la fin du siècle dernier à de vives controverses dans les assemblées de l'association des Stations agronomiques allemandes. A cette époque le commerce ne livrait pas comme aujourd'hui des supers pauvres en oxyde de fer et alumine, la rétrogradation devenait importante et des différences entre analyses étaient fréquentes.

Quoique FRÉSÉNIUS admette comme toujours exacts les résultats obtenus par lavage, MAERCKER [84] et WAGNER [319] préfèrent la méthode par digestion. Se basant sur le fait que le phosphate monocalcique se décompose en présence de petites quantités d'eau, ERLENMEYER [75] recommande la méthode par digestion ; celle-ci, connue sous le nom de procédé de Magdebourg, est encore recommandée par WATTENBERG [330] et WEIN [334] pour les supers pauvres en oxydes de fer et alumine et contenant de l'acide libre.

En déterminant les conditions dans lesquelles l'acide phosphorique empêche la décomposition du phosphate monocalcique par l'eau, STOCKLASA [298] a fourni l'explication des résultats concordants qu'on obtient dans l'analyse des supers par l'une ou l'autre de ces méthodes, mais il en serait autrement dans le cas d'un phosphate monocalcique pur.

La méthode par lavage de la prise d'essai est officielle en France,

dans les pays latins et en Amérique ; la méthode par digestion est adoptée en Allemagne, Belgique, Hollande et Grande-Bretagne.

3. *Acide phosphorique soluble dans le citrate ammonique.*

Pendant longtemps la seule base d'achat ou de vente des supers fut réglée par leur titre en P^2O^5 soluble dans l'eau ; cependant bientôt il fut constaté qu'il existe dans ces produits des combinaisons phosphatées insolubles dans l'eau et non dénuées d'intérêt (phosphate bicalcique, phosphates de fer et d'alumine).

Après que Warringhton [320] eut constaté que le phosphate bicalcique se dissout dans une solution suffisamment concentrée de citrate ammonique, Frésénius, Neubauer et Luck [92] publient en 1871 une méthode de détermination de l'acide phosphorique rétrogradé ; celle-ci s'applique aux supers et aux phosphates précipités, fabriqués à cette époque par les fabriques de gélatine. Le principe en est le suivant :

a. Pour les supers : on détermine, d'une part, la quantité de P^2O^5 insoluble dans l'eau, et, d'autre part, la quantité de P^2O^5 insoluble (après lavage à l'eau) dans une solution de citrate ammonique neutre de densité 1.09 chauffé pendant un heure à 40° ; la différence donne P^2O^5 rétrogradé.

b. Pour les phosphates précipités : on détermine, d'une part, P^2O^5 total, et, d'autre part, P^2O^5 insoluble dans le citrate ; la différence donne P^2O^5 soluble.

En 1872, Joulie [143] publie une méthode dans laquelle il fait emploi d'un citrate plus concentré et fortement alcalin : la prise d'essai est agitée mécaniquement à la température ambiante avec la solution de citrate et P^2O^5 est directement dosé dans la solution filtrée.

Vers la même époque Pétermann [233, 234] reprend le citrate de Frésénius en l'additionnant de 1 % d'ammoniaque (50 cc. d'ammoniaque de Ds 0.91 par litre de citrate de Ds 1.09). Faisant son profit d'une remarque de Crispo [47] dans laquelle ce dernier signale que la présence de carbonate de chaux ou de sels de magnésie peut provoquer un résultat en P^2O^5 soluble citrate moindre que celui en P^2O^5 soluble eau, Pétermann [235, 236] adopte le lavage à l'eau préalablement au traitement par le citrate. Il suit dans son principe la technique de Frésénius, Neubauer et Luck, mais dose directement P^2O^5 dans la solution filtrée ; en joignant le filtrat du lavage à l'eau, il obtient la somme P^2O^5 soluble dans l'eau et le citrate. donnant directement la valeur agricole totale de l'engrais.

Pétermann [233] publie sa première méthode en 1880, mais de

l'aveu de plusieurs témoins, parmi lesquels CHEVRON [42] et MEYER [199], les laboratoires belges avaient adopté son procédé en 1871, peu après l'adoption du procédé de JOULIE en France (ALBERT et SIEGFRIED [3]).

Aujourd'hui ces trois méthodes de dissolution sont encore en usage et, comme le dit LEPPER [172], on n'a pas encore trouvé mieux malgré les imperfections qu'on peut leur reprocher.

Méthode FRÉSÉNIUS, modifiée par GLADDING [98] : États-Unis d'Amérique.

» JOULIE : France, pays latins.

» PÉTERMANN : Allemagne, Belgique, Hollande, Grande-Bretagne et pays nordiques.

Dans la pensée de PÉTERMANN, l'acide phosphorique rétrogradé est facilement soluble dans le citrate, c'est pourquoi dans 100 cc. de réactif il prenait

Pour les supers	: 2 grs
les phosphates précipités	: 1 gr.
les engrais composés	: 5 grs.

Depuis lors on a reconnu que la plus grande partie de P^2O^5 des phosphates désagrégés par fusion se dissout aussi dans le citrate et on a admis ce mode de dissolution pour la détermination de leur valeur.

D'ailleurs les données de PÉTERMANN ont été modifiées et sont devenues en Belgique [203] :

a.	pour les supers	100 cc	2 grs
b.	les engrais à base de super	100 cc	2 grs
c.	les phosphates précipités et désagrégés	200 cc	1 gr
d.	tous les engrais autres que b	200 cc	1 gr

Dans la méthode de JOULIE [346], le volume du citrate reste invariablement 60 cc. pour une prise de matière de 0.75 gr. et dans la méthode de FRÉSÉNIUS-GLADDING [24] 1 gr de matière pour 100 cc. de citrate.

4. *Acide phosphorique soluble dans l'acide citrique à 2 %.*

Cette méthode proposée par P. WAGNER [234] en 1899 s'applique exclusivement aux scories de déphosphoration ; elle est tout à fait conventionnelle et a pour base une certaine proportionalité entre la solubilité de la scorie et sa valeur culturale déterminée par essai direct.

Le méthode actuellement en usage est la troisième due à WAGNER.

Dans une première méthode l'auteur déterminait la solubilité de la scorie dans une solution de citrate ammonique acide de titre

défini en faisant intervenir une correction pour obvier à l'alcalinité de la scorie analysée : cette méthode ne fut jamais répandue.

Dans une seconde, dérivée de la première, WAGNER [321] déterminait la solubilité de l'acide phosphorique de la scorie dans une solution contenant par litre 60 grammes d'acide citrique pur cristallisé et 9,2 grammes d'ammoniaque exprimé en azote ; cette méthode fut officiellement adoptée en 1895 par l'Association des Stations agronomiques allemandes.

En 1895 HOYERMANN [128] industriel de Bohème, constate que la solubilité relative, rapport de P^2O^5 soluble à P^2O^5 total, des scories Bessemer, d'après la méthode au citrate acide de WAGNER, est d'autant plus élevée que ces scories sont plus riches en silice et que par conséquent les fabriquants ont intérêt à introduire de la silice dans le convertisseur.

Cette seconde méthode de WAGNER eut donc comme résultat indirect de faire produire des scories plus solubles et il arriva que la quantité de chaux solubilisée devient telle que l'acidité libre du réactif était souvent saturée.

Comme d'un autre côté, de nombreuses études avaient démontré que la méthode ne répondait pas exactement à son but (discordance entre la solubilité relative et la valeur culturale) et que le réactif était d'une préparation assez délicate, WAGNER [323] proposa sa troisième méthode.

Malgré les nombreuses discussions qu'elle provoqua dans les milieux scientifiques agronomiques allemands et étrangers, elle fut cependant bientôt adoptée partout et reste encore à la base des transactions dans le commerce des scories.

5. *Acide phosphorique libre.*

On ne rencontre l'acide phosphorique libre que dans les superphosphates.

Quoique cette détermination puisse posséder une grande utilité dans l'industrie, elle est d'application rare dans les transactions commerciales :

Les études de STOKLASA [299] ont démontré la décomposition du phosphate monocalcique sous l'action de l'eau : la mise en solution dans l'eau et la détermination de l'acidité ne peut donc pas donner des résultats exacts.

La méthode par extraction à l'alcool absolu, due à MÜNTZ [209], donne lieu à des réactions pendant l'extraction : l'acide phosphorique libre se trouve dans la phase liquide, le phosphate monocalcique dissous dans la dite phase est décomposé par l'addition d'alcool en phosphate bicalcique et acide phosphorique ; d'où erreur par excès.

L'extraction par l'éther, proposée par Herzfelder [122], ne résout pas entièrement le problème ; il faut même remarquer que l'éther n'est pas miscible à la phase liquide du super.

Reprenant les essais de Herzfelder, Van Dormael [314] sèche d'abord le super à l'étuve à 100° ; la phase liquide disparaît et le mouillage par l'éther est plus parfait ; mais l'inconvénient de la méthode réside précisément dans le séchage à température relativement élevée. Il se produit des réactions dans la masse. L'acide phosphorique en se concentrant réagit sur les composés plus basiques : on constate souvent sur les parois du vase contenant le super des auréoles dues au dégagement du fluor.

Meurice [197] tente d'éviter ces réactions par séchage à basse température ; ses résultats sont plus constants, la méthode semble meilleure, mais répond-elle à la réalité ? La disparition de la phase liquide ou les modifications qu'elle subit, les réactions de précipitation et de décomposition, qui en sont la conséquence, soulèvent à ce sujet un doute non résolu.

Sanfourche [264] critique très sévèrement les méthodes d'extraction de l'acide libre par les solvants tels que l'éther, l'alcool et l'acétone, à cause des modifications que la phase liquide peut en subir ; il propose l'extraction par le formiate d'éthyle dont l'action ne modifierait pas la constitution de la phase liquide : le phosphate monocalcique est précipité sans décomposition ; l'acide libre extrait peut se doser par titration.

Quoi qu'il en soit, il faut considérer que le problème du dosage de l'acide phosphorique libre dans les superphosphates n'est pas entièrement résolu et est donc encore susceptible d'études ultérieures.

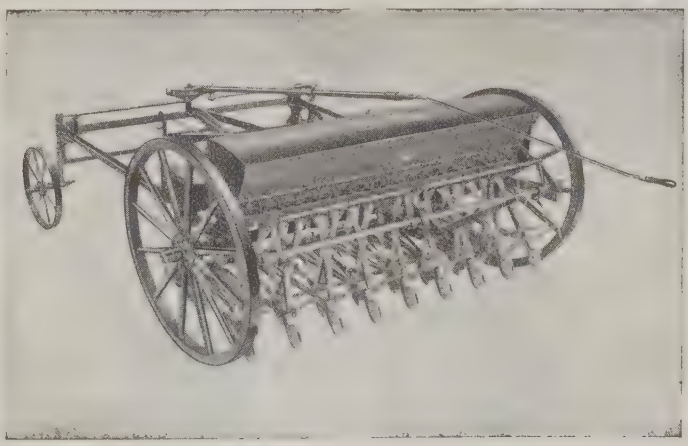
(*à suivre*).

ETABLISSEMENTS EDOUARD

de SAINT-HUBERT

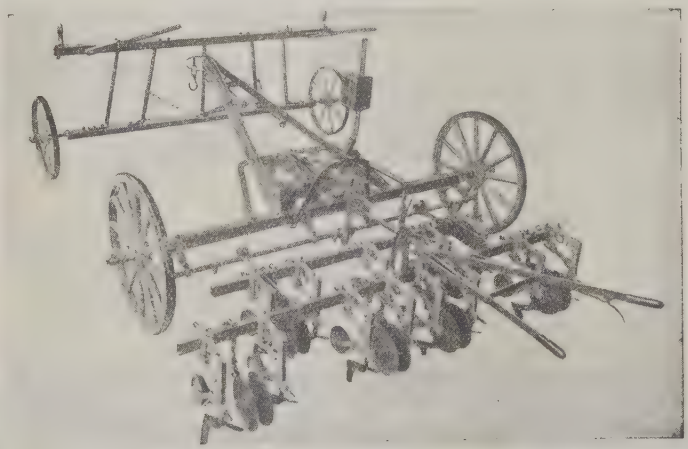
ORP - LE - GRAND BELGIQUE

AU SERVICE DE L'AGRICULTURE DEPUIS 1877



SEMOIRS "SIMPLEX" BINEUSES

POUR TRACTION ANIMALE OU MECANIQUE



POMPES A PURIN A BRAS OU A MOTEUR
MACHINES POUR L'INTERIEUR DE LA FERME

ENGRAIS ROSE

15 - 20 - 26

COMPLET

GRANULÉ

LE PLUS RICHE

ENTIEREMENT SOLUBLE

FORMULE GARANTIE

7,5%	D'AZOTE NITRIQUE
7,5%	D'AZOTE AMMONIACAL
20 %	D'ACIDE PHOSPHORIQUE ANHYDRE SOLUBLE DANS L'EAU, DU PHOSPHATE D'AMMONIAQUE
26 %	DE POTASSE ANHYDRE SOLUBLE DANS L'EAU

SOCIÉTÉ BELGE DE L'AZOTE et des PRODUITS CHIMIQUES DU MARLY

S.B.A.P.C.M. RENORY-OUGRÉE

Société Anonyme — 16, quai Churchill, LIEGE.
Tél. 689.06 — 689.07 — 689.08 et 689.29.

C'est la qualité de la Confiture

MATERNE

qui a fait sa renommée.

Les progrès réalisés depuis 60 ans par cette firme — la plus importante de Belgique — vous sont un sûr garant de la valeur de ses produits.

La première installation belge de "Quick-Freezing", Fruits et Légumes surgelés à — 40° Frima.
Pectine liquide et sèche.
Conserves de légumes.

Ets. E. MATERNE, Jambes-Bruxelles-Grobbendonk.

Fresnes Nord **Établissements BATTAILLE** Basècles Hainaut

- ACIDE SULFURIQUE
- SUPERPHOSPHATE
- Matières premières pour l'Agriculture
- ENGRAIS COMPOSÉS A BASE ORGANIQUE

POUR
L'AGRICULTURE & L'HORTICULTURE.

ALIMENTS
POUR CHEVAUX ET BESTIAUX.

Société de la VIEILLE-MONTAGNE, S. A.

ANGLEUR-LEZ-LIÉGE

ARSENIATE DE CHAUX MARQUE ARSCAL

ARSCAL H. 40

utilisé sous forme de bouillies
Pouvoir normal de suspension dans l'eau garanti

ARSCAL S. 13

utilisé pour le poudrage à sec des feuilles en forêt ou en grande culture
adhérence au feuillage garantie.

DESTRUCTION DES INSECTES RONGEURS, DES CHENILLES ET PYRALES
LUTTE CONTRE LE DORYPHORE

SULFATE THALLEUX

Très grande toxicité pour destruction des rongeurs, fourmis et autres parasites de l'Agriculture.

SULFATE DE CUIVRE

en cristaux

Tous ces produits sont agréés et enregistrés par le Ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement.

Produits Chimiques de Tessenderloo S.A.

TESSENDERLOO.

—— —

TELEPH. 1, 3, 113 Tessenderloo.
TELEGR. : Chimie Tessenderloo.

—— —

Acide sulfurique
Sulfate de soude 95 %
Acide chlorhydrique synthétique et ordinaire.
Potasse caustique liquide, coulée et en morceaux.
Carbonate de potasse.
Chlorure de chaux 35-37 %.
Hypochlorite de soude.
Chlore liquide.
Phosphate bicalcique précipité 38 % P_2O_5
soluble citrate, marque « Fertiphos ».
Engrais composé Sulkaphos
(mélange de phosphate bicalcique et de sulfate de potasse).

UN PRODUIT SOLVAY - PLANT PROTECTION

Contre le

TAUPIN

Une technique nouvelle et efficace.

CLOXANE 40

est le premier insecticide dont l'incorporation au sol entraîne la disparition certaine des parasite souterrains et la protection complète des cultures.

CLOXANE 40

élimine les dégâts provoqués par les vers fil de fer (taupins), les vers blancs (larves des hannetons), les larves des tipules, l'atomaire et la silphe opaque de la betterave, la mouche du chou, les courtilières, iules, mille-pattes, etc...

DEMANDEZ DOCUMENTATION A

SELCHIM

412, Avenue Louise - Bruxelles

Tél. : 48.64.85

CLOXANE 40 protège vos cultures

LA MACHINE A TRAIRE

A POT SUSPENDU

ET PULSATEUR BREVETÉ

FN

Licence DECLAYE

POUR

UNE TRAITE ALTERNATIVE
AVEC MASSAGE PROGRESSIF
DU TRAYON

TRAITE

Naturelle, Saine, Complète, Économique

—o—

Les Cruches à Lait

en alliage spécial léger « Aluminium silicé » sont

ROBUSTES

LEGERES

ECONOMIQUES

NE ROUILLENT PAS

Demandez catalogues et renseignements gratuits à la

Fabrique Nationale d'Armes de Guerre. S. A.

HERSTAL - BELGIQUE

OU A SES AGENTS.

LES PRODUITS UCB POUR LABORATOIRES

constance

Produits pour analyse
Produits spéciaux
Produits purs
Solutions titrées
Réactifs de la Pharmacopée Belge (IVe éd)

UNION CHIMIQUE BELGE, S. A.

61, AVENUE LOUISE • BRUXELLES • TELEPHONE: 37 12 20 • R.C.B.6451

FRUITICULTEURS

Pour le traitement d'hiver des arbres fruitiers,

L'UNION CHIMIQUE BELGE

vous recommande d'utiliser

CARBOREOL

carbolineum soluble pour arbres fruitiers.

CHROMOXOL

colorant organique en poudre.

LIPOXOL-COLOR

huile minérale émulsionnée enrichie de colorants organiques.

ARBOLAC

vernis cicatrisant pour les plaies d'élagage et chancres.

Tous ces produits sont enregistrés à la Station de Phytopharmacie de l'Etat sous les numéros 232 - 297 - P 555 - P 415.

PRIX-COURANT, PROSPECTUS et CALENDRIER ARBORICOLE SUR DEMANDE.

UCB

Union Chimique Belge, S.A.

SIÈGE SOCIAL : 61, AVENUE LOUISE — BRUXELLES

TÉLÉPHONE : 371220 (10 lignes) — R. C. B. 6451

IMPRIMERIE J. DUCULOT, GEMBLOUX *(Imprimé en Belgique)*